

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Základy určování polohy mobilních zařízení
Fundamentals of Mobile Devices Positioning

2013

Michal Ehl, DiS

Zadání bakalářské práce

Student:

Michal Ehl

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Základy určování polohy mobilních zařízení
Fundamentals of Mobile Devices Positioning

Zásady pro vypracování:

Cílem této práce je sestavení přehledu základních technik a metod pro určování polohy mobilních zařízení, jejich srovnání a využití v komunikačních systémech.

1. Popis základních technik a metod používaných pro určování polohy mobilních zařízení.
2. Zpracování přehledu jejich praktického využití v komunikačních systémech.
3. Srovnání lokalizačních metod dle různých kritérií.
4. Zmapování nabídky lokalizačních aplikací a služeb.

Seznam doporučené odborné literatury:


Ahson S., Ilyas M.: Location-Based Services Handbook: Application, Technologies, and Security, CRC Press 2011, ISBN: 978-1-4200-7196-2

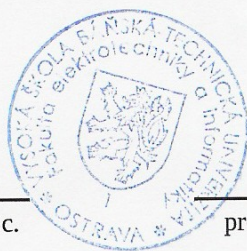
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

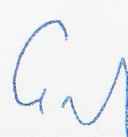
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 25.7.2013



.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Romanu Šebestovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na základy určování polohy mobilních zařízení. Nejprve jsou popsány základní principy v závislosti na tom, kdo provádí výpočet polohy. Dále jsou uvedeny geometrické a radiové metody, využívané při určování polohy. Poté jsou zmíněny jednotlivé technologie a konkrétní implementace. Jejich jednotlivé rozdělení je provedeno dle rozsahu na: globální, národní a nadnárodní, městské a pro vnitřní použití. Vše je pro přehlednost uvedeno v tabulkách s příslušnými vlastnostmi a parametry. Větší pozornost je pak věnována satelitní navigaci, jejich doplňkovým systémům a lokalizaci mobilních zařízení. Dále jsou uvedeny některé aplikace lokalizačních technologií, které se používají. Jako je geodézie, u které jsou také popsány speciální postupy měření, kterými lze dosáhnout vyšší přesnosti při určování polohy.

Klíčová slova

navigace, GPS, SBAS, GBAS, ToA, TDOA, RSSI, AoA, RF id, trilaterace, multilaterace, triangulace.

Abstract

This work focuses on the basics of positioning mobile devices. First, there are described the fundamental principles, depending on who is doing the calculation of the position. It further describes the geometric method and radio methods that are used for positioning. Then there are the individual technologies and the concrete implementation of these technologies. Distribution of individual technologies is carried out according to the extent to: global, national and transnational, urban and indoor use. Everything is shown in the tables with the properties and characteristics. More attention is paid to satellite navigation systems and their complementary localization of mobile devices. Furthermore, there are some applications of location technologies that are used. Such as geodesy, in which are also described special measurement procedures, which brings higher accuracy in positioning.

Key words

navigation, GPS, SBAS, GBAS, ToA, TDOA, RSSI, AoA, RF id, trilateration, multilateration, triangulation.

Seznam použitých symbolů

| Symbol | Jednotky | Význam symbolu |
|-----------|----------|----------------|
| f | Hz | Frekvence |
| d | m | Vzdálenost |
| v | m/s | Rychlost |
| t | s | Čas |
| P | W | Výkon |
| λ | nm | Vlnová délka |
| G | dB | Zisk antény |

Seznam použitých zkratek

| Zkratka | Cizojazyčný význam | Český význam |
|---------|---|---|
| 3g | third generation of mobile telecommunications technolog | Mobilní síť 3. generace |
| AFLT | advance Forward Link Trilateration | Metoda určení polohy u mobilních operátorů. |
| A-GPS | Assisted Global Position System | Asistovaný globální poziční systém |
| AoA | Angel of Arrival | Metoda využívající určení směru příchodu signálu |
| ASAS | Africa Satellite Augmentation System | Africký SBAS |
| CDMA | code division multiple access | Kódově dělený multiplex |
| CWAAS | Canadian WAAS | Kanadské rozšíření WAAS |
| CZEPOS | | Síť permanentních stanic GNSS České Republiky |
| DGPS | Differential Global Positioning System | Diferenciální GPS |
| DTV | Digital terrestrial television | Digitální pozemní televizní vysílání |
| E-CGI | Enhanced Cell Global Identity | Je metoda CEL ID + ToA + RSSI a model úrovně signálu |
| EFLT | Enhanced forward Link Trilateration | Metoda určení polohy u mobilních operátorů, využívající trilateraci. |
| EGNOS | European Geostationary Navigation Overlay Service | Evropský SBAS |
| EOTD | Enhanced Observed Time Difference | Vylepšené TDoA používané pro určení polohy u mobilních sítí |
| EUREF | European Reference Frame | Evropský systém permanentních referenčních pozemních stanic rozmístěných po celé Evropě |

| | | |
|---------|--|---|
| FDMA | Frequency-division multiple access | Frekvenčně dělený multiplex |
| GAGAN | GPS Aided Geo Augmented Navigation | Indický SBAS |
| GBAS | Ground Based Augmentation Systems | system pozemních referenčních stanic |
| GEO | Geostationary Earth Orbit | geostacionární oběžná dráha |
| GeoNAS | Geodynamical Network of the Academy of Science of the CR | System pozemních stanic pro akademické účely |
| GLONASS | Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema | Ruský GNSS |
| GNSS | Global navigation satellite system | Globální navigační satelitní systém |
| GPS | Global Position system | Americký GNSS |
| GPST | Global Positioning System time | Časový systém pro GPS |
| GSM | Global System for Mobile Communications | Globální systém mobilních komunikací |
| GSO | Geosynchronous Orbit | Geosynchronní Orbit |
| GTRF | Galileo Terrestrial Reference Frame | Prostorový referenční rámec |
| HDOP | Horizontal Dilution Of Precision | rozptyl přesnosti |
| IRNSS | Regional Navigational Satellite System | Indický regionální navigační satelitní systém |
| LLR | Lunar laser ranging | Laserové měření vzdálenosti Měsíce. |
| MHD | | Městská hromadná doprava |
| MSAS | MTSAT Satellite-Based Augmentation System | Japonský SBAS |
| MTSAS | Multifunctional Transport Satellite Augmentation System | Multifunkční Japonský satelitní systém |
| NSS | Navigation satellite system | Lokální navigační satelitní systém |

| | | |
|--------|--|--|
| PP | Post processing | Výpočet se provádí až po vykonaném měření a po získání všech potřebných dat. |
| QZSS | Quasi-Zenith Satellite System | Japonský navigační satelitní systém, jehož družice využívají speciální eliptickou dráhu. |
| RFID | Radio Frequency Identification | Identifikace pomocí rádiové frekvence |
| RMS | Root-mean-square | je vzdálenost mezi polohou bodu ve zdrojových souřadnicích a jeho polohou vypočtenou |
| RSSI | Received Signal Strength Indication | Metoda využívající sílu signálu vztahenou k poloze. |
| RTK | Real time kinematic | Kinematika v reálném čase |
| SACCSA | Solución de Aumentación para Caribe, Centro y Sudamérica | SBAS pro Jižní Ameriku, střední Ameriku a Karibik |
| SBAS | Satellite Based Augmentation Systems | Podpůrný satelitní systém pro NSS |
| SDCM | System of Differential Corrections and Monitoring | Ruský SBAS |
| SIM | subscriber identity module | Identifikační karta v mobilním telefonu. SIM karta |
| SLR | Satellite laser ranging | Satelitní metoda měření vzdálenosti s velmi vysokou přesností |
| SNAS | Satellite Navigation Augmentation System | Čínský SBAS |
| TDofA | Time Diference of Arrival | Metoda využívající rozdíl dob příchodu signálu |
| ToA | Time of Arrival | Metoda využívající dobu cestování signálu |

| | | |
|---------|--|---|
| USA | United States of America | Spojené státy americké |
| UTC | Coordinated Universal Time | |
| UWB | Ultra Wide Band | Širokopásmové vysílání |
| VESOG | | Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS |
| VRS | Virtual Reference Station | Měření za pomoci virtuální referenční stanice |
| WAAS | Wide Area Augmentation System | Americký SBAS |
| Wi – Fi | Wireless Fidelity | komunikační standard pro bezdrátový přenos dat |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access | Standard pro venkovní bezdrátovou datovou síť |

Obsah

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Úvod..... | 1 |
| 2 | Základní principy využívané u určování polohy | 2 |
| 3 | Geometrické metody určování polohy | 4 |
| | 3.1 Trilaterace..... | 4 |
| | 3.2 Multilaterace..... | 5 |
| | 3.3 Triangulace..... | 6 |
| 4 | Fingerprinting..... | 8 |
| 5 | Radiové metody určování polohy..... | 9 |
| | 5.1 Time of Arrival (ToA)..... | 9 |
| | 5.2 Time difference of arrival (TDOA)..... | 10 |
| | 5.3 Měření síly signálu RSSI (Received Signal Strength Indication) | 10 |
| | 5.4 Angle of arrival (AoA)..... | 12 |
| 6 | Srovnání jednotlivých metod a technologií určování polohy | 14 |
| | 6.1 Srovnání jednotlivých technologií..... | 15 |
| | 6.2 Srovnání technologií dle dosahu a tříděné podle přesnosti | 23 |
| | 6.3 Srovnání globálních satelitních navigačních technologií | 25 |
| | 6.4 Srovnání lokálních satelitních navigačních technologií | 27 |
| | 6.5 Srovnání rozšiřujících technologií typu SBAS..... | 27 |
| | 6.6 Srovnání Rozšiřujících technologií typu GBAS..... | 30 |
| | 6.7 Srovnání mobilních technologií | 32 |
| 7 | Aplikace | 34 |
| | 7.1 RF id v řešení následků katastrof | 34 |
| | 7.2 Geodezie..... | 34 |
| | 7.3 Navigace uvnitř budov | 35 |
| | 7.4 SLR..... | 35 |
| | 7.5 Systém preference vozidel MHD | 36 |
| | 7.6 Navigace vozidel | 36 |

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 7.7 | Geocaching..... | 36 |
| 7.8 | Lokalizace tísňových volání..... | 38 |
| 8 | Závěr..... | 39 |
| 9 | Použitá literatura..... | 40 |
| | Seznam příloh..... | 46 |

1 Úvod

Tato práce se zabývá lokalizací mobilních zařízení, metodami a principy, které se pro tuto činnost používají, technologiemi, které se pro tyto služby využívají a jejími aplikacemi. Je zde také uvedeno základní porovnání jednotlivých metod, principů a technologií.

Kapitola Základní principy využíváné u určování polohy, uvádí základní 3 principy určování polohy, kdy se poloha vypočítává pomocí terminálu, infrastrukturou nebo infrastrukturou za asistence terminálu. Jsou zde také uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých metod.

Třetí kapitola je věnována geometrickým principům, které se využívají pro výpočet polohy. Je zde popsán princip trilaterace, multilaterace a triangulace. Jsou zde uvedeny předpoklady pro užití této metody a také postup výpočtu.

Následuje kapitola s názvem finger printing. Jedná se o moderní metodu k určení polohy. Je zde popsáno, co vše je možné pro tuto metodu použít a jsou zde popsány její výhody i nevýhody.

Pátá kapitola je věnována radiovým principům využívaných pro určování polohy. Jsou zde popsány metody: Time of Arrival, Time difference of arrival, Receive Signal Strength Indication a Angle of Arrival. U metody RSSI je zde rozvedena metoda korelace prostředí a metoda modelování.

V následující kapitole je provedeno srovnání jednotlivých metod principů a technologií. Jednotlivé technologie jsou rozděleny dle dosahu. Zvláště jsou pak porovnány GNSS a RNSS. Odděleně jsou porovnány i jednotlivé SBAS a GBAS systémy a také metody užívané pro lokalizaci mobilních telefonů.

Sedmá kapitola je věnována jednotlivým aplikacím, u nichž se využívá některé z uvedených technologií. Je zde uvedeno využití RF id v řešení následků katastrof, využití navigace v geodezii a uvnitř budov. Je zde popsána technologie SLR. Jsou zde popsány systémy preference vozidel MHD a navigace vozidel. Dále je zde popsán Geocaching a také lokalizace tísňových volání.

2 Základní principy využívané u určování polohy

Obecný lokalizační systém založený na základní síťové komunikaci, se skládá ze dvou hlavních složek: přenosných přístrojů nebo mobilních terminálů na straně uživatele, a základnových stanic, vysílačů tvořících infrastrukturu komunikační sítě. Určování polohy Uživatele lze rozdělit do dvou fází: Určení vzdálenosti od vysílačů a poté výpočet polohy pomocí znalosti polohy vysílačů a vzdálenosti od nich. Hlavní geometrické principy použité k odhadu polohy jsou trilaterace, multilaterace a triangulace a tyto zásady budou podrobně vysvětleny v kapitole 3.

Nutno ještě dodat, že ke zjištění polohy se dají použít i jiné metody, například metoda Fingerprinting, které se věnuje kapitola 4. Poloha se také dá zjistit například z hvězd a podobně, ale této problematice se tento text věnovat nebude.

Obecně platí, že mohou nastat 3 typy scénářů. Odlišují se tím, kdo provádí výpočet polohy terminálu:

1. **Výpočet provádí terminál** - Terminál přijímá signál z infrastruktury, z jednotlivých uzlů. Tyto uzly vysílají své technické parametry v periodických intervalech. Z kvality signálu je možné využít k určení vzdálenosti od uzlu. Podobně se dá zjistit vzdálenost i při měření času příchodu signálu (Toa). Je to doba, která je zapotřebí pro příchod signálu od vysílače k přijímači. Pokud se nám podaří takto změřit vzdálenost od více vysílačů, tak je terminál schopen vypočítat svou polohu. Výpočet polohy provádí tedy sám terminál (1)
2. **Výpočet provádí infrastruktura** - Uzly dostávají signály z uživatelského mobilního terminálu. V tomto případě uživatelské zařízení přenáší signály do síťové infrastruktury, kde se musí extrahovat a je zde zjištěna vzdálenost od tohoto uzlu. Tato měření může využít každý uzel. Nakonec v analogii s předchozím případem může být využito více vzdáleností k získání polohy terminálu. U této metody tedy polohu vypočítá infrastruktura, která tento údaj může zaslat zpět na terminál. U této metody je nutné poznamenat, že uživatelé mohou být sledováni, aniž by o tom věděli. (1)
3. **Výpočet provádí infrastruktura za asistence terminálu** - Mobilní zařízení přijme signál od základnových stanic, přičemž jen jednoznačně identifikuje stanice, od nichž signál pochází, a tato data pošle zpět do infrastruktury, která pak vypočítá polohu terminálu a případně ji pošle zpět. Výpočet polohy u této metody provádí síť, ale je k tomu zapotřebí asistence terminálu.

Tabulka 2.1 zobrazuje srovnání uvedených principů. Jsou zde uvedena celkem čtyři kritéria, která udávají základní výhody a nevýhody dané metody. Energetická náročnost terminálu pak ovlivňuje například výdrž baterie. Tento parametr je závislý na tom, zda je zařízení pouze pasivní

přijímač nebo zda musí i aktivně vysílat. Parametr Počet terminálů udává, zda je možné v rámci jednoho poskytovatele lokalizační služby používat neomezený či omezený počet terminálů. Parametr Zjistitelnost terminálu udává, zda je možné zjistit přítomnost terminálu v síti a případně i prostřednictvím infrastruktury zjistit jeho polohu. Parametr Tísňové zprávy udává, zda je možné prostřednictvím této metody odesílat tísňové zprávy do infrastruktury. Zde je nutné zmínit, že některá zařízení využívají k odeslání tísňové zprávy jiné technologie, než jakou požívají pro zjištění polohy, jako je například mobilní telefon.

Tabulka 2.1: Porovnávající jednotlivé principy

| Výpočet provádí | Energetická náročnost terminálu | Počet terminálů | Zjistitelnost terminálu | Tísňové zprávy |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Terminál | nízká | neomezen | nezjistitelný | neumožňuje |
| Infrastruktura | vyšší | omezen | zjistitelný | umožňuje |
| Asistované terminálem | vysoká | omezen | zjistitelný | umožňuje |

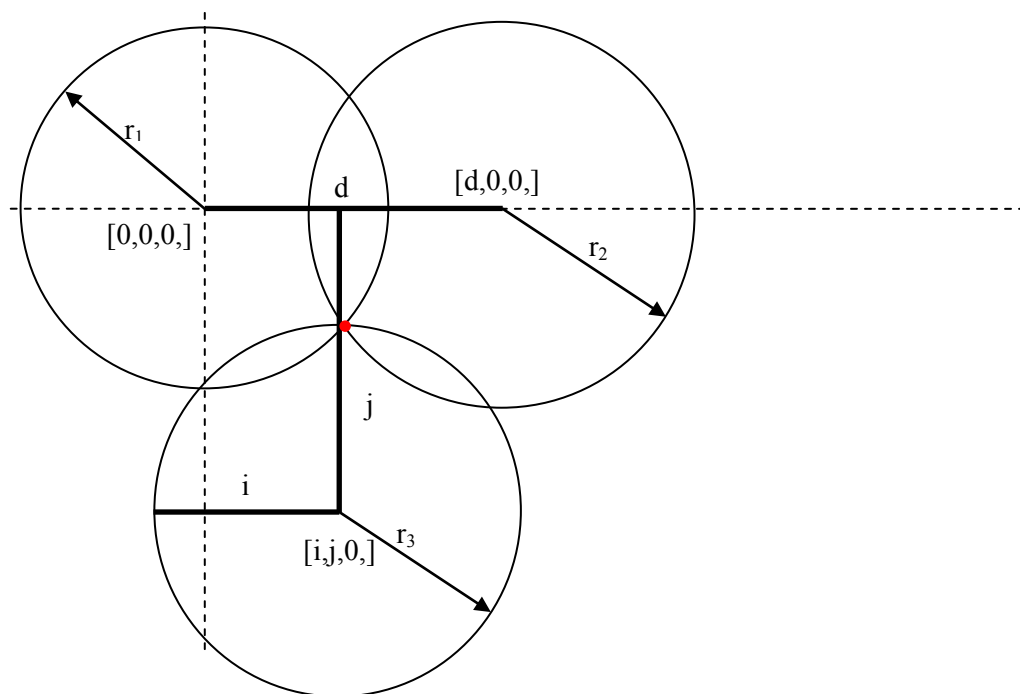
Z tabulky je možné vidět, že z pohledu energetické náročnosti a počtu terminálů je nejvýhodnější výpočet terminálem. Nevýhoda této metody však spočívá v nemožnosti zpětné komunikace. Tato nevýhoda se však dá odstranit pomocí datové komunikace využívající například mobilní síť a podobně. Nutno také dodat, že se tím zvýší energetická náročnost terminálu.

U druhých dvou metod je možné posílat infrastruktuře nějaké zprávy, například o tísňové situaci uživatele. Co by však mohlo být bráno za nevýhodu je, že infrastruktura je schopna zjistit polohu i bez vědomí uživatele terminálu.

3 Geometrické metody určování polohy

3.1 Trilaterace

Je metoda k určení průsečíku tří povrchů koulí, u nichž známe polohy středů a velikosti poloměrů. Používají se především u ToA a RSSI. Trilaterací získané souřadnice jsou souřadnice průsečíku tří povrchů koulí, kde centrem koule je vysílač a poloměrem koule je vzdálenost od tohoto vysílače. Tato technika se obvykle opírá o principy RSSI nebo ToA, pomocí nichž jsme schopni zjistit vzdálenost od jednotlivých vysílačů (poloměry koulí). V případě použití ToA je zapotřebí synchronizovat hodiny vysílače a přijímače. Matematicky se poloha v trojrozměrném prostoru vypočítá pomocí řešení následující soustavy rovnic. (2)



Obrázek 1 Princip trilaterace.

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (1)$$

$$r_2^2 = (x - d)^2 + y^2 + z^2 \quad (2)$$

$$r_3^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 \quad (3)$$

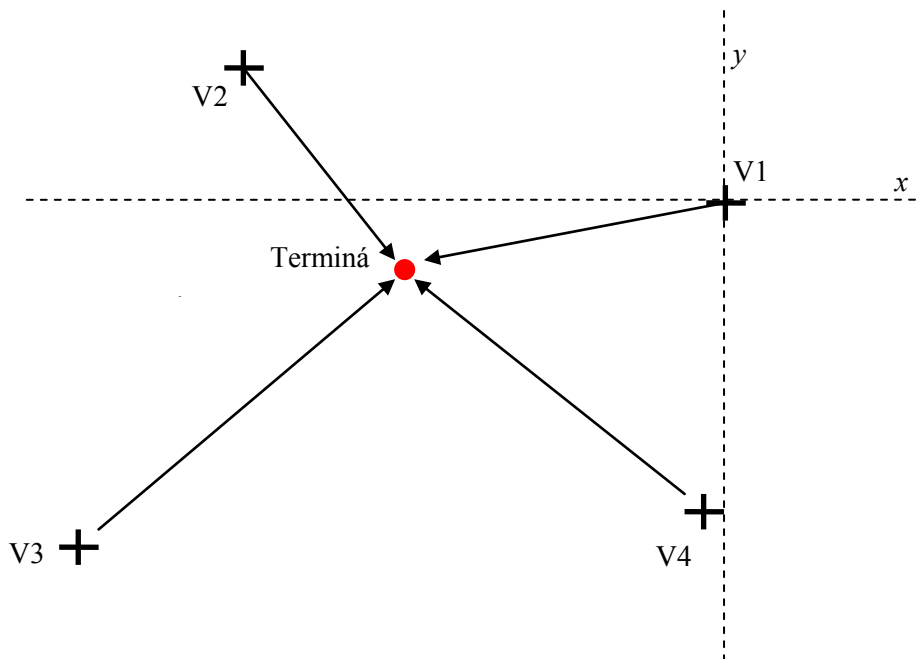
x, y, z – souřadnice

d, i, j – posuvy polohy kružnic

r_1, r_2, r_3 – poloměry kružnic

3.2 Multilaterace

Je metoda pro výpočet polohy využívající TdoA ze tří a více směrů. Výpočet je založen na výpočtu průsečíků 3 a více hyperbol, které vyplývají z výpočtu TdoA. V trojrozměrném prostoru kde známe souřadnice čtyř vysílačů (x_{c1}, y_{c1}, z_{c1}) , (x_{c2}, y_{c2}, z_{c2}) , (x_{c3}, y_{c3}, z_{c3}) a (x_{c4}, y_{c4}, z_{c4}) Při použití více vysílačů se však přesnost nezlepší. Dále jsme schopni zjistit čas, který je potřebný pro cestu od vysílače k přijímači t_1, t_2, t_3 a t_4 , jehož polohu chceme vypočítat. Z tohoto času a rychlosti signálu, která je rovna c (rychlost světla). Při vyřešení soustavy rovnic (4) – (7) získáme souřadnice terminálu. (1)



Obrázek 2 Princip multilaterace

$$t_1 = \frac{\sqrt{(x - x_{c1})^2 + (y - y_{c1})^2 + (z - z_{c1})^2}}{c} \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{\sqrt{(x - x_{c2})^2 + (y - y_{c2})^2 + (z - z_{c2})^2}}{c} \quad (5)$$

$$t_3 = \frac{\sqrt{(x - x_{c3})^2 + (y - y_{c3})^2 + (z - z_{c3})^2}}{c} \quad (6)$$

$$t_4 = \frac{\sqrt{(x - x_{c4})^2 + (y - y_{c4})^2 + (z - z_{c4})^2}}{c} \quad (7)$$

V případě, že jsme schopni zachytit signál ze čtyř vysílačů, je třeba soustavu upravit. Pro jednoduchost položíme $(x_{c4}, y_{c4}, z_{c4}) = (0, 0, 0)$. Nyní pro srovnání TDoA původního a nového signálu.

$$\Delta t_1 = t_1 - t_4 = \frac{\sqrt{(x - x_{c1})^2 + (y - y_{c1})^2 + (z - z_{c1})^2} - \sqrt{(x)^2 + (y)^2 + (z)^2}}{c} \quad (8)$$

$$\Delta t_2 = t_2 - t_4 = \frac{\sqrt{(x - x_{c2})^2 + (y - y_{c2})^2 + (z - z_{c2})^2} - \sqrt{(x)^2 + (y)^2 + (z)^2}}{c} \quad (9)$$

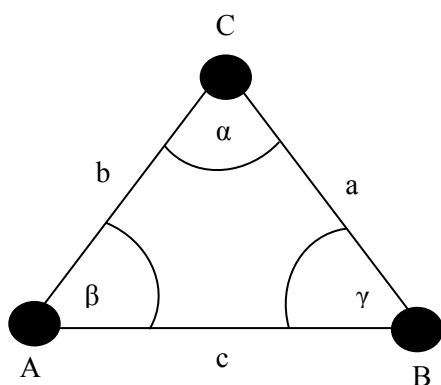
$$\Delta t_3 = t_3 - t_4 = \frac{\sqrt{(x - x_{c3})^2 + (y - y_{c3})^2 + (z - z_{c3})^2} - \sqrt{(x)^2 + (y)^2 + (z)^2}}{c} \quad (10)$$

Tyto tři rovnice reprezentují 3 jednotlivé hyperboloidy. A jejich průsečík udává polohu lokalizovaného terminálu. Pokud použijeme více vysílačů, můžeme pak provádět výpočet pro kombinace čtveřic vysílačů a statisticky pak vypočítat polohu s vyšší přesností. (1) (3)

3.3 Triangulace

Na rozdíl od předešlých metod se u triangulace využívá především měření úhlů místo vzdáleností, které se pak dopočítávají. Pro výpočet polohy je zapotřebí znát dva pevné body, u nichž známe souřadnice, a poloha mobilního zařízení se vypočítá jako třetí vrchol trojúhelníku ze znalosti jedné strany a dvou úhlů.

Triangulace je metoda, která se využívá v trigonometrii. Jestliže známe dva úhly a jednu stranu trojúhelníku, tak druhé dvě strany a úhel jsme schopni vypočítat. Pro tyto výpočty se používá Sinova a Cosinova věta. Pokud tedy známe i polohu prvních dvou bodů, jsme tedy schopni dopočítat i polohu třetího bodu.



Obrázek 3 Princip triangulace

Sinova věta:

$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)} \quad (11)$$

Cosinova věta:

$$c^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos(\gamma) \quad (12)$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ca \cos(\beta) \quad (13)$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos(\alpha) \quad (14)$$

4 Fingerprinting

Ani jednou z předcházejících matematických metod však nejsme schopni dobře použít uvnitř budov. I když například A-GPS zlepšuje citlivost o 10 dB, útlum budov bývá přes 20 dB. Proto pokud chceme určovat polohu přesněji, je nutné využít jiné technologie. Vhodné je například využít stávající Wi-Fi pokrytí a metody RSSI. Tato metoda funguje na principu zjištění dostupnosti vysílačů, a to i různých technologií a určení polohy dle jedinečnosti údajů, které získá z této komunikace.

Nejčastěji se však využívá s metodou RSSI, kdy se vytvoří mapa oblastí, která uvádí síly signálu v každém bodě. Tyto mapy je možné vytvořit pomocí výpočtů díky znalosti parametrů infrastruktury a detailní znalosti lokality, nebo pomocí měření, kdy je nutné proměřit všechna místa mapy a uvést sílu signálu mnohdy zachycených od více vysílačů. Důležitou součástí této metody je software, který tato data zpracovává, zná mapu pokrytí a monitoruje pohyb uživatele. Detailněji je tato metoda popsána v kapitole 5.3.

Je zde ale možné využít i například IP adresy. Nebo například Názvu Wi-Fi sítě (SSID), nebo BSSID, které udává i intenzitu daného signálu. Aby ale bylo možné takto určit polohu, je nutné napřed vytvořit databázi těchto identifikátorů vztaženou k poloze. Jedna z nejznámějších je asi od společnosti GOOGLE, kdy automobily pracující na Street view skenují mobilní a Wi-Fi sítě. Nyní na základě takto vytvořené databáze jsme schopni určit svou polohu. Tato databáze samozřejmě není ojedinělá. Například v USA existuje celá řada společností s velkými vozovými parky, které provádí monitoring a vytváří vlastní databáze. (4)

5 Radiové metody určování polohy

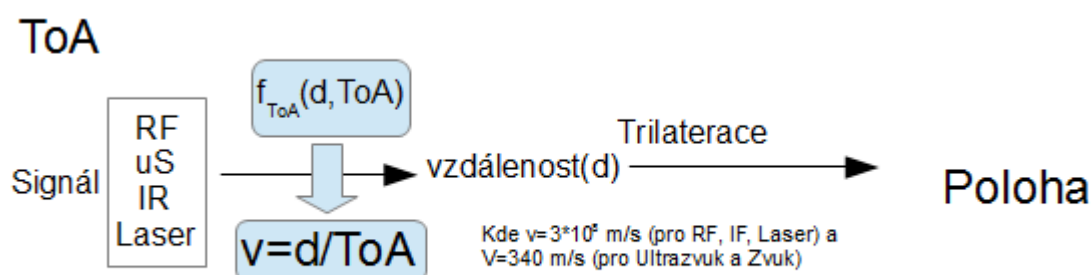
Jednotlivé metody se používají u různých technologií. Jaká metoda se volí, často závisí na samotné aplikaci a okolnostech. Tomu také odpovídá i přesnost. Jedna technologie může používat různé geometrické a radiové metody pro výpočet polohy. V této kapitole jsou popsány celkem 4 metody. Time of Arrival, kde se měří čas příchodu signálu. Time Difference of Arrival, čemuž se také často říká hyperbolická navigace. Dále je zde popsána metoda Received Signal Strength Indication, která je založena na měření síly signálu v závislosti k poloze vůči vysílačům. Jako poslední je zde popsána metoda Angle of arrival, která je založena na měření úhlů vzhledem k jednotlivým vysílačům.

5.1 Time of Arrival (ToA)

Tato metoda se používá s různými technologiemi: radiové vlny, ultrazvuk, infračervené světlo a viditelné světlo. Vzdálenost se vypočítá z doby příchodu signálu a rychlosti šíření signálu.

$$rychlost = \frac{vzdálenost}{ToA} \quad (15)$$

Jedná se o dva podobné způsoby měření na základě doby, kterou potřebuje signál na překonání vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Jedná se o jednosměrné šíření signálu v čase. (One-way propagation time measurement) a zpáteční (oboustranné) šíření signálu v čase (Roundtrip propagation time measurement).



Obrázek 4 Postup určování polohy pomocí ToA.

Měření jednosměrného šíření signálu se provádí tak, že se změří doba mezi odesláním signálu vysílačem a čas, kdy byl signál obdržén na přijímači. Kvůli přesnosti je třeba synchronizovat přijímač s vysílačem, jinak by docházelo k posunu. Tento druh měření však udává vyšší nároky na senzory a synchronizaci, z čehož plynou vyšší náklady na výstavbu celé sítě. Právě kvůli nutnosti synchronizace tato metoda vychází jako nejméně vhodná.

Se zpátečním měřením jsme na tom o něco lépe. Tato metoda funguje podobně jako předchozí. Také se měří čas, který signál potřebuje k překonání vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Rozdíl je v tom, že signál přijatý přijímačem se obratem odesílá zpět k vysílači, čímž nám odpadá problematická synchronizace. Je zde zapotřebí však změřit čas, který je potřebný pro zpracování signálu přijímačem, aby mohl být poslán zpět. Tento čas se musí tedy od výsledného času odečíst. (2) (1)

5.2 Time difference of arrival (TDOA)

Navigace založené na tomto principu se často označují jako hyperbolické navigační systémy. U této metody je nevýhoda nutnosti synchronizace odstraněna. Nevychází se z absolutních hodnot času, ale z rozdílů mezi sousedními vysílači. Pomocí této metody se vypočítá hyperbola určená dvěma vysílači. Případně hyperboloid mezi 3 vysílači. Využívá se zde metody multilaterace, která je popsána v kapitole 3.2.

Této metody se využívá například u GPS. Obecně metody pracující s časem jsou vhodné pro venkovní prostory, kde je přímá viditelnost vysílače a přijímače s minimem odrazů.

5.3 Měření síly signálu RSSI (Received Signal Strength Indication)

Je možné se také setkat s označením RSS nebo pouze SS. Tato metoda je jednou ze základních lokalizačních technik. Asi největší výhodou je, že není třeba investovat do hardwaru. Tato metoda využívá toho, že síla signálu klesá v závislosti na vzdálenosti od vysílače podle Friisovy rovnice: (2) (1)

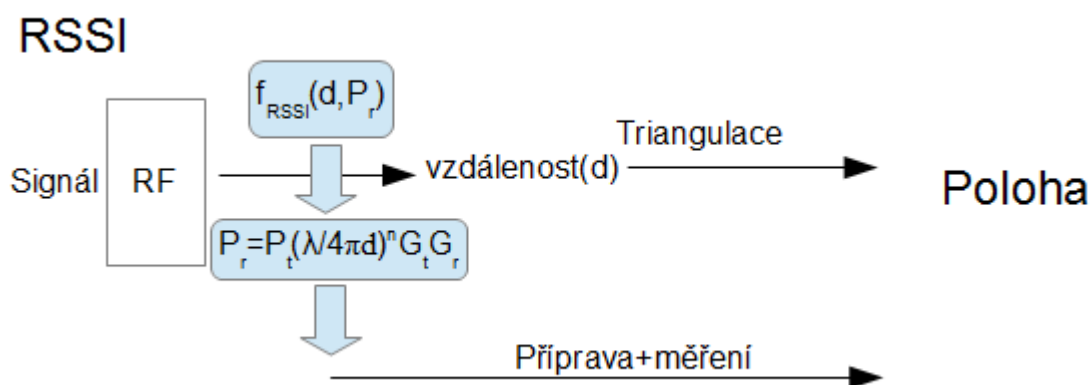
$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi^2 d^2)} \quad (16)$$

| | |
|----------------|--|
| P_t [W] | Výkon vysílače |
| λ [nm] | vlnová délka |
| G_r [dB] | zisk antény přijímače |
| G_t [dB] | zisk antény vysílače |
| d [m] | vzdálenost mezi vysílačem a terminálem |

Nutno říct, že tento postup není ideální, protože počítá s přímou viditelností a nebere v potaz odrazy, které značně mění intenzitu signálu v daném místě. Proto se tento postup hodí do otevřených

prostranství, kde je jen minimum odrazů a překážek. A dá se říct, že je naprosto nevhodný do vnitřních prostor, měst a podobně (2).

Pro vnitřní a městské prostory se tohoto principu využívá jiným způsobem. Nejprve se vytvoří mapa intenzity signálu pro danou lokalitu a poté se podle aktuálního signálu terminálu určuje nejpravděpodobnější místo. Pro nalezení nejpravděpodobnější polohy terminálu je třeba zvolit vhodný algoritmus. Pro dosažení nejlepších výsledků přesnosti určení polohy je zapotřebí získat co nejvěrohodnější popis úrovní signálů v definovaných místech daného prostředí. (5)



Obrázek 5 Postup určování polohy pomocí RSSI.

Signálové mapy prostředí lze vytvořit následujícími dvěma způsoby:

Metoda korelace prostředí se dělí na dva režimy: mimo provozní (Offline Phase) a provozní (Real time Phase). V offline režimu se provede měření síly signálu v předem zvolených bodech. Naměřená intenzita od jednotlivých vysílačů na daných souřadnicích se uloží do databáze. Je vhodné měřit body v různých směrech, aby se potlačil vliv stínění způsobené měřící osobou nebo lidmi v jeho blízkosti. Dalšími faktory je například otevření dveří do místnosti, kde je vysílač a podobně. Výsledkem offline fáze je signálová mapa pokrytí daného prostředí se známými souřadnicemi měřených bodů (5) (6).

Druhá fáze je zaměřena na samotné určení polohy. Přesnost této metody je závislá na použitém typu signálu. Například technologie IEEE 802.11 b, kde se udává přesnost 1-3 m. U signálů typu Ultra Wideband (UWB) se uvádí přesnost dokonce v řádech desítek centimetrů (6).

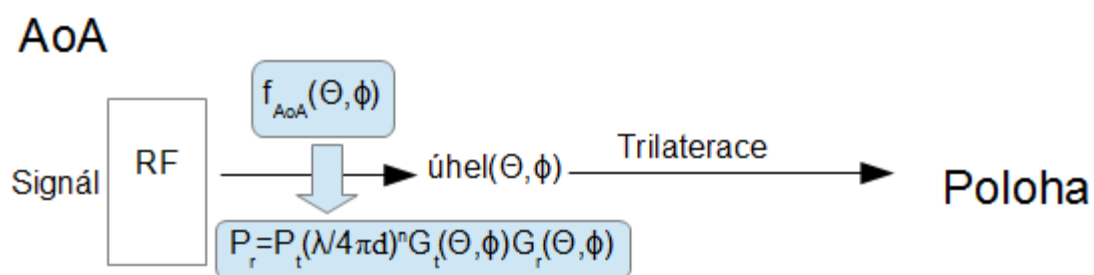
Bohužel nevýhoda tohoto postupu spočívá v nulové flexibilitě sítě i prostředí. Jakmile se předělá jen jediný přístupový bod nebo dojde ke změně prostředí, například přestavba budovy, nábytku a podobně, je zapotřebí vytvořit mapu pokrytí znovu, což je velice nákladné. (6)

Metoda modelování využívá znalosti infrastruktury, kdy se ze znalosti vysílacích výkonů jednotlivých přístupových bodů a přesného modelu dané budovy či dané lokality vypočítá mapa intenzity pokrytí pomocí software. Tato metoda je však méně přesná, ale je dále flexibilnější a levnější. Při změně přístupových bodů nebo jejich vlastností se změní vstupní data programu a není tak třeba nic měřit.

Obě metody jsou určeny pouze pro plochu vytyčenou mapou pokrytí, podle které se vypočítává aktuální poloha.

5.4 Angle of arrival (AoA)

Další metoda, kterou se dá určit vzdálenost mezi uzly, se nazývá Angle of arrival (AOA). Tato metoda měří úhel mezi přicházejícím signálem a pevně stanoveným referenčním směrem. Je několik způsobů měření směru přicházejícího signálu.



Obrázek 6 Postup určování polohy pomocí AoA

První způsob je, že se umístí směrová anténa na otočný mechanismus, začne rotovat a zaznamenává se intenzita signálu a úhel natočení antény. Umístění zdroje se pak určí podle směru s nejsilnějším signálem. Důležitými parametry jsou citlivost antény a šířka vysílaného svazku.

Měření však může značně narušit vliv rušení, kdy má pak natáčená anténa v některých směrech špatný příjem, právě kvůli tomuto rušení. V těchto případech je pak vhodné použít ještě jednu všesměrovou stacionární anténu. Síla signálu změřená oběma anténami je pak porovnána a poté je možné tento vliv do určité míry odstranit. (2)

Další možnost, jak zjistit směr signálu, je pomocí dvou nebo spíše 4 stacionárních směrových antén s pevně daným směrem natočení. Při porovnání síly signálu u jednotlivých antén v jednom čase a srovnání s natočením těchto antén jsme schopni určit směr signálu, a to i v případě rušení. Směr se nejdříve určí přibližně podle toho, která anténa má nejlepší příjem, a teprve poté se určuje přesnější směr podle příjmu ostatních antén. Měření samozřejmě není úplně přesné. Jeho přesnost se odvíjí od

počtu použitých antén. Při použití více antén se docílí větší přesnosti. To je důvod, proč se v senzorových sítích instaluje na každý senzor anténa. Díky takto vniklému poli antén je měření mnohem přesnější. Chyby měření se při použití čtyř antén pohybují kolem $10\text{--}15^\circ$, u šesti antén bývá chyba kolem 5° a při měření s osmi už je chyba jen přibližně 2° . (2)

6 Srovnání jednotlivých metod a technologií určování polohy

Co se týká geometrických metod určování polohy, tak trilaterace je přesnější než multilaterace a vyžaduje menší počet vysílačů. Trilaterace však zvládne více chyb a stále překonává RSSI techniku z hlediska přesnosti a robustnosti. Multilaterace je však schopná, za použití TDoA, dosáhnout lepší přesnosti než technika používající RSSI.

V tabulce 6.1 je provedeno rozdělení technologií dle geometrické metody, které se používají pro určování polohy lokalizovaného terminálu. Jednotlivé technologie jsou zde zařazeny dle principu, který používají. Tabulka 6.1 vychází z literatury (7) a je rozšířena o další technologie.

Tabulka 6.1: Využití jednotlivých radiových metod u různých technologií

| ToA | TDoA | RSSI | AoA | ostatní |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| RF | Hyperbolický navigační systém | Fingerprinting | Computer Vision | IR |
| UWD | Decca | GSM | SLAM | Active Badge |
| Aktivní RFID | Omega | Wi-Fi | RF | RF |
| GPS | LORAN-C | radar | Buňková | Pasivní RFID |
| WI-FI | CHAYKA | Bluetooth | Wimax | Wi-Fi |
| DTV | Alpha | Konvenční rádio | | WIMAX |
| Mobilní tel. | Wi-Fi | DTV | | Google Latitude |
| A- GPS | Celular communication | Zigbee | | Bluetooth |
| AFLT | U-TDoA | Aktivní RFID | | Buňková komunikace |
| LIDAR | E-OTD | | | Cell ID |
| US | | | | Cel ID, others |
| Active Bats | | | | Inertial navigation System |
| Cricket | | | | Computer vision |
| Dolphin | | | | |
| hexamite | | | | |
| Sound | | | | |

Z tabulky 6.1, je patrné že jedna technologie může používat více radiových metod pro určování polohy. Tato metoda často ovlivňuje přesnost určované polohy a také jeho cenu. Proto se poměrně často stává, že se využívá horší metody, ale za podstatně nižší cenu. Nebo proto, aby nebylo nutné investovat do infrastruktury například z důvodu synchronizace nebo umístění směrových antén.

6.1 Srovnání jednotlivých technologií

V následujících tabulkách jsou technologie, které je možné užít pro určení polohy. U těchto technologií jsou vždy uvedeny základní metody, které se u dané technologie používají pro určení polohy. U některých technologií je možno užít více těchto metod. To má potom vliv především na přesnost a složitost systému, především na infrastrukturu. Dále je zde uveden dosah technologie. Často je zde uveden interval rozsahu. Tento parametr je ovlivněn například výkonem zařízení, použitými anténami, členitostí prostředí a mnoha dalšími. Zde jsou uvedeny hodnoty, které byly nalezeny v uvedené literatuře. Přesnosti uvedené v tabulkách 6.2 - 6.6, odpovídají vždy nejlepší základní metodě pro lokalizaci, kterou je pro danou technologii možné použít.

Tabulka 6.2: Přehled technologií používaných pro lokalizaci v rámci celého světa.

| Technologie | Základní RF metoda pro lokalizaci | Dosah | Prostředí | Energetická náročnost | Přesnost | Cena | Geometrická metoda | Typ terminálu | Výpočet polohy | Dostupnost |
|-------------|-----------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------|-----------|-------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
| GNSS | ToA | celosvětové | venkovní | velmi velká | na metry | levné | trilaterace | aktivní / pasivní | terminálem | veřejná / veřejná za poplatek |
| NSS + SBAS | ToA + korekce | stát / světadíl | venkovní | velmi velká | až do 5cm | levné | trilaterace | aktivní / pasivní | termínálem / sítí | veřejná za poplatek |

Tabulka 6.3: Přehled technologií používaných pro lokalizaci v rámci určitého státu nebo světadílu.

| Technologie | Základní RF metoda pro lokalizaci | Dosah | Prostředí | Energetická náročnost | Přesnost | Cena | Geometrická metoda | Typ terminálu | Výpočet polohy | Dostupnost |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|-------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
| RNSS | ToA | stát / světadíl | venkovní | velmi velká | do 10m | levné | trilaterace | aktivní / pasivní | terminálem / sítí | veřejná / veřejná za poplatek |
| NSS + GBAS | ToA + korekce | stát / světadíl | venkovní | velmi velká | až milimetry | levné | trilaterace | aktivní / pasivní | terminálem / sítí | veřejná za poplatek |
| NSS + SBAS | ToA + korekce | stát / světadíl | venkovní | velmi velká | až do 5cm | levné | trilaterace | aktivní / pasivní | terminálem / sítí | veřejná za poplatek |
| Buňková | ToA, TDoA, RSSI, AoA | od stovek metrů do desítek kilometrů | venkovní / vnitřní | nízká | metry | levné | trilaterace | aktivní | sítí | veřejná / veřejná za poplatek |
| Hyperbolický navigační systém | TDoA | obvykle stovky km | venkovní | střední | stovky metrů | drahé | multilaterace | pasivní | terminálem | veřejná |
| Konvenční rádio | RSSI | desítky kilometrů | venkovní | nízká | nízká | levné | trilaterace | pasivní | terminálem | veřejná |
| DTV | ToA a RSSI | desítky kilometrů | venkovní / vnitřní | vysoká | metry | drahé | trilaterace | pasivní | terminálem | veřejná |

Tabulka 6.4: Přehled technologií používaných pro lokalizaci v rámci města nebo blízkého okolí.

| Technologie | Základní RF metoda pro lokalizaci | Dosah | Prostředí | Energetická náročnost | Přesnost | Cena | Geometrická metoda | Typ terminálu | Výpočet polohy | Dostupnost |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|--|---------|--|---------------|----------------|--------------------|
| Wimax | Vhodná jsou AoA, ToA, TDoA, RSSI | od několika metrů do mnoha kilometrů | venkovní | vysoká | dobrá metry | levné | dle metody (nejčastěji fingr printing) | aktivní | spíše síť | privátní |
| Computer vision | AoA | závislí na aplikaci | venkovní / vnitřní | vysoká | dobrá metry | střední | fingr printing | pasivní | spíše síť | privátní / veřejné |
| LIDAR | ToA | variabilní závislá na aplikaci | venkovní / vnitřní | střední | vynikající na mm | střední | - | aktivní | terminálem | privátní |
| SLAM | AoA | závislí na aplikaci | venkovní / vnitřní | vysoká | dobrá metry | střední | fingr printing | aktivní | terminálem | privátní |
| Wi-Fi | RSSI, ToA a TDoA | 1-200 m | venkovní / vnitřní | vysoká | s RSSI metry, s ToA nebo TDoA stovky metrů | střední | dle metody (nejčastěji fingr printing) | aktivní | síť | privátní |

Tabulka 6.2 zobrazuje technologie, které lze používat pro lokalizaci kdekoli na Zemi. Jedná se vlastně o klasickou satelitní navigaci GNSS, která je uvedena v prvním řádku tabulky. V druhém řádku je stejná technologie, avšak doplněna o technologii SBAS, která musí mít také satelity pokrytou celou Zemi. Je zde také vidět poměrně značný rozdíl v přesnosti. Zatím co samotná satelitní navigace dosahuje přesnosti řádově v metrech, tak doplníme-li jí o systém SBAS, tak jsme schopni dosáhnout až na přesnost 5cm, uvedenou společností StarFire.

Tabulka 6.3 obsahuje technologie, které se používají pro lokalizaci na území určitého státu, případně světadílu. V prvním řádku tabulky je uveden systém RNSS, což je regionální satelitní systém, ale na rozdíl od globálního systému, zde bývají použity satelity umístěné na stacionárních oběžných drahách. Nicméně tento systém má podobné vlastnosti jako GNSS. Zatím co GNSS provádí výpočet polohy pouze terminálem, u systému RNSS může být poloha vypočítávána i infrastrukturou jako je tomu například u čínského systému Beidou. Dále je zde uveden systém GBAS, který dosahuje přesnosti až na mm. Tuto hodnotu uvádí společnost CZEPOS a této přesnosti se dosahuje při použití postprocesingu. K získání opravných dat se nejčastěji používá Internet. Třetí řádek tabulky uvádí opět regionální satelitní systém doplněný o SBAS. Zde se dosahuje prakticky totožných parametrů, jako zobrazuje : tabulka 6.2. Dále je zde uveden Buňkový systém, což představuje především síť mobilních telefonů. Tato problematika je pak lépe popsána v kapitole 6.7. Hyperbolická navigace, která se nachází na 5.řádku, se v současné době příliš nepoužívá a je nahrazována satelitními navigacemi, které dosahují lepší přesnosti. Je to také jediná navigace, která využívá k lokalizaci multilateraci. Tabulka 6.3 uvádí ve svých posledních dvou řádcích Konvenční rádio a digitální televizi. Tyto systémy je možné použít pro navigaci například, v USA kde je v televizním signálu vysílán jednoznačný kód vysílače. V České Republice bohužel tento identifikátor signál neobsahuje, a proto je nevhodný.

Jsou však případy, kdy nám stačí navigace pouze v rámci poměrně malé oblasti, jako je město. Tabulka 6.4 obsahuje technologie, které jsou schopny pokrýt oblast právě této velikosti. Jako první je zde uvedena technologie Wimax sloužící k datovým přenosům právě tohoto rozsahu, a tak je možné ji využít i k určení polohy. Jedná se vlastně o technologii velice podobnou Wi-Fi, uvedenou v posledním řádku tabulky, ale Wimax je koncipován pro venkovní použití. Dokonce se zde používá nejčastěji pro určení polohy metody RSSI ve spojení s metodou finger printing stejně jako u Wi-Fi.

Tabulka 6.4 v druhém řádku popisuje parametry technologie Computer vision která funguje na principu porovnání vizuálního pohledu. Terminál udělá fotografii a porovná ji s databází. Podle toho určí, kde se nachází. Tato technologie je velice nenáročná na terminál, kdy stačí obyčejný fotoaparát, který je schopný komunikovat s infrastrukturou, která obsahuje databázi fotografií prostředí a software, který je schopný na základě shod ve fotografiích určit polohu. Asi nejznámější takto vytvořená databáze je Street view. LIDAR je technologie založená na laserovém skenování. Je to

jedna z nejmodernějších technologií využívána pro vytváření prostorových dat o území. Takto získaná data se pak pomocí systému GIS využijí pro vytvoření 3D modelu území. Technologie SLAM uvedená na dalším řádku tabulky se využívá především u robotů, kteří touto metodou vytvoří vlastní mapu prostředí, ve kterém jsou pak schopni operovat. K rekognoskaci terénu používají nejčastěji LIDAR.

Tabulka 6.5: Přehled technologií pro vnitřní použití, s možností přenosu dat.

| Technologie | Základní RF metoda pro lokalizaci | Dosah | Prostředí | Energetická náročnost | Přesnost | Cena | Geometrická metoda | Typ terminálu | Výpočet polohy | Dostupnost |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|--|----------|--|---------------|----------------|------------|
| Wi-Fi | RSSI, ToA a TDoA | 1-200 m | vnitřní, městská | vysoká | s RSSI metry, s ToA nebo TDoA stovky metrů | střední | dle metody (nejčastěji fingr printing) | aktivní | sítí | privátní |
| UWB | ToA, AoA | 10-200m | vnitřní | nízká | vynikající více než na milimetry | vysoká | specifické | aktivní | radar | privátní |
| Bluetooth | RSSI | 1 - 20 m | vnitřní | nízká | dobrá metry | levnější | fingr printing | aktivní | spíše síť | privátní |
| Zigbee | RSSI | 1 - 50 m | venkovní / vnitřní | velmi nízká | dobrá metry | levné | fingr printing | aktivní | spíše síť | privátní |
| IR | ToA | od centimetrů do několika metrů | vnitřní | nízká | dobrá metry | střední | trilaterace | aktivní | spíše síť | privátní |

Tabulka 6.6: Přehled technologií pro vnitřní použití, bez možnosti přenosu dat.

| Technologie | Základní RF metoda pro lokalizaci | Dosah | Prostředí | Energetická náročnost | Přesnost | Cena | Geometrická metoda | Typ terminálu | Výpočet polohy | Dostupnost |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Computer vision | AoA | závislí na aplikaci | venkovní / vnitřní | vysoká | dobrá metry | střední | fingr printing | pasivní | spíše síť | privátní / veřejné |
| SLAM | AoA | závislí na aplikaci | venkovní / vnitřní | vysoká | dobrá metry | střední | fingr printing | aktivní | terminálem | privátní |
| RFID | RSSI | 0,01-30 m | vnitřní | velmi malá | dobrá metry | velmi levné | trilaterace | aktivní | síť | privátní |
| LIDAR | ToA | variabilní závislá na aplikaci | venkovní / vnitřní | střední | vynikající na mm | střední | - | aktivní | terminálem | privátní |
| Ultrazvuk | ToA | od centimetrů po desítky metrů | vnitřní | velmi nízká | vynikající na Cm | střední | trilaterace | aktivní / pasivní | terminálem / síť | privátní |
| Zvuk | ToA | od centimetrů po desítky metrů | vnitřní | velmi nízká | vynikající na cm | střední | trilaterace | aktivní / pasivní | terminálem / síť | privátní |

Tabulka 6.5 jako první popisuje technologii Wi-Fi, která je pro lokalizaci uvnitř budov asi nejpoužívanější. Vzhledem k tomu, že se tato technologie používá jako bezdrátové datové síť a velmi často se již v objektu nachází, nejsou zde tak vysoké náklady na vybudování, protože dojde jen k úpravě a doplnění stávající infrastruktury. Tabulka 6.5 na řádku 2 uvádí, v současné době rozvíjející se technologii UWB. Tato technologie má velký potenciál a je ji možné používat jak pro lokalizaci, tak pro přenos dat. Je ze zde uvedených také nejpřesnější. Technologie Zigbee a Bluetooth se vzhledem ke svému malému dosahu příliš nepoužívají. IR technologie je používána především jako pohybová čidla, ale mnohem větší přesnosti se dosahuje při využití jako komunikační rozhraní. Tato technologie se používá například u obchodních asistentů.

Tabulka 6.6 uvádí technologie Computer vision, SLAM a LIDAR které již uvádí tabulka 6.4. Na třetím řádku je uvedena technologie RFID, která se dělí na pasivní a aktivní. U pasivní může mít terminál podobu nálepky, ale dosah je zde poměrně malý. Lokalizace se pak provádí pouze na základě poslední brány nebo čtečky, která tento terminál zachytila. Zatímco u aktivních lze určit sektor, ze kterého byl kód vyslán. Jako poslední dvě uvádí tabulka 6.6 technologie založené na ultrazvuku a zvuku ve slyšitelném spektru. Tyto technologie jsou poměrně nenáročné na zařízení, které komunikuje pouze prostřednictvím mikrofону a reproduktoru. Problém této technologie je v okolním hluku, který může značně ovlivnit či znemožnit komunikaci a tím určení polohy.

6.2 Srovnání technologií dle dosahu a třídění podle přesnosti

Tabulka 6.7 provádí srovnání jednotlivých lokalizačních technologií dle přesnosti. Aby bylo možné technologie srovnávat, byly rozděleny dle typu použití. A v těchto kategoriích byly seřazeny sestupně dle přesnosti.

Tabulka 6.7: Rozdělení technologií dle rozsahu a srovnání technologií dle přesnosti

| Globální | | Národní / nadnárodní | | Městské | | Vnitřní | |
|-------------|----------|-------------------------------|--------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------|
| Technologie | Přesnost | Technologie | Přesnost | Technologie | Přesnost | Technologie | Přesnost |
| GNSS | metry | NSS+GBAS | až mm | Wi-Fi | metry | UWB | < mm |
| | | NSS+SBAS | do 5 cm | Wimax | metry | RFID | m |
| | | RNSS | do 10m | SLAM | závisí na aplikaci | Wi-Fi | m |
| | | DTV | metry | computer vision | závisí na aplikaci | Ultrazvuk | cm |
| | | Buňková | metry | | | Zvuk | cm |
| | | Hyperbolický navigační system | stovky metrů | | | Bluetooth | m |
| | | Konvenční rádio | nízká | | | Zigbee | m |
| | | | | | | Computer vision | m |
| | | | | | | SLAM | m |
| | | | | | | IR | m |

Z předchozí tabulky je patrné, že jediná technologie, která je schopna určit polohu kdekoli na zemi, je GNSS. Zde je nutné dodat, že tato technologie nefunguje příliš dobře v budovách a členitém terénu jako je město nebo hory s úzkými kaňony a podobně. Dále je patrné, že pokud potřebujeme používat lokalizaci jen v rámci země nebo světadílu, je výběr již větší. Obzvláště pokud použijeme přístroj, který zvládá více norem, který pak můžeme používat v rámci několika lokalit.

Jak je v tabulce 6.7 patrné největší výběr máme při lokalizaci v budovách. Zde se často k lokalizaci využívá bezdrátové technologie používané k přenosu dat, typicky Wi-Fi.

6.3 Srovnání globálních satelitních navigačních technologií

Tabulka 6.8 zobrazuje jasně, že jediný systém, který v současné době dosahuje FOC, je GPS. Systém GLONASS se tomuto stavu přibližuje, ale potýká se s krátkou životností družic. Tento systém má vypuštěno již 30 družic, ale pouze 23 jich je funkčních. Systémy Galileo a Compass (Beidou) jsou ve výstavbě.

Tabulka 6.8: GNSS systémy

| Parametr | GPS | GLONASS | Galileo | Compass (Beidou) |
|---|--|--|---|---|
| Vypuštění první družice | 22.2.1978 | 12.10.1982 | 28.12.2013 | 13.4.2007 |
| Uvedení do provozu | 8.12.1993 poprvé vyhlášen IOC 17. července 1995 poprvé dosaženo FOC | 29.9.1993 poprvé vyhlášen IOC, v roce 1995 24 satelitů. | Současně testovací provoz Plný 2020 | Částečně funkční Plný provoz 2020 |
| Počet družic (plánovaných / operujících) | 24,32 | 24, 23 (vypuštěných 29) | 30, 6 | 35, 14 |
| Časový systém | GPST | UTC (SU) | GTRF | Beijing 1954 |
| Kódování | CDMA | FDMA | CDMA | CDMA |
| Frekvence[MHz] | L1: 1575.42 L2: 1227.60 L3: 1176.45 | G1: 1602 G2: 1246 G3: TBD | E1: 1575.42 E5a:1176.45 E5b: 1207.14 E6: 1278.75 | B1-2: 1589.75 (E1) B-1: 1561.1 (E2) B2: 1207.14 (E5b) B3: 1268.52 (E6) |

6.4 Srovnání lokálních satelitních navigačních technologií

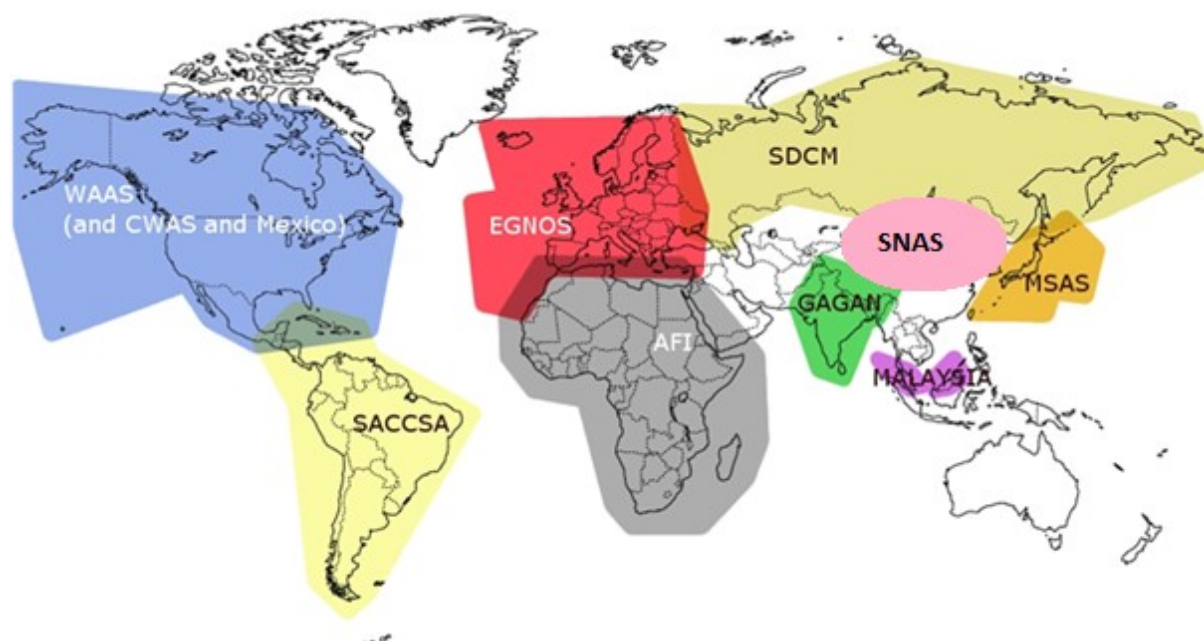
Do této kategorie se řadí systémy: Čínský systém Beidou-1, který je plně funkční, Indický systém IRNSS a Japonský systém QZSS, který je však spíše doplňkový systém GPS a zlepšuje jeho pokrytí ve městech a hornatých oblastech. Z těchto systémů je plně funkční pouze Čínský systém Beidou-1. Ostatní jsou ve fázi výstavby.

Tabulka 6.9: Regionální NSS systémy.

| Název technologie | Beidou-1 | IRNSS | QZSS |
|-------------------------|------------------|---------------|------------------------|
| Region | Čína | Indie | Japonsko |
| Vypuštění první družice | 31.10.2000 | Červen 2013 | 11.9.2010 |
| Uvedení do provozu | | 2014 – 2015 | |
| Počet družic | 3+1 záloha (GEO) | 3(GEO)+2(GSO) | 3 Quasi-Zenith |
| Přesnost | 10 m | 10 m | < 1 m |
| Frekvence | 2491,75 MHz | 2-4 GHz | L1-C / A (1575.42 MHz) |
| | | | L1C (1575.42 MHz) |
| | | | L2C (1227,6 MHz) |
| | | | L5 (1176.45 MHz) |
| | | | L1-SZIF (1575.42 MHz) |
| | | | LEX (1278.75 MHz) |
| Poznámka | Aktivní přijímač | Ve výstavbě | Ve výstavbě |

6.5 Srovnání rozšiřujících technologií typu SBAS

Jedná se o systémy, které slouží ke korekci NSS. Většina z nich podporuje GPS a některé podporují jak GPS, tak GLONASS. Systém se skládá z pozemního segmentu, který se skládá z pozemních stacionárních stanic, které odečítají duální chybu a prostřednictvím vlastního satelitního segmentu posílají data zpět k uživateli. Pokrytí jednotlivých národních a nadnárodních SBAS systémů ukazuje obrázek 7.



Obrázek 7: Pokrytí jednotlivých SBAS systémů (upraveno z (8))

Pokrytí jednotlivými systémy nám zobrazuje obrázek 7. Zde je vidět, že jediné dva kontinenty, které nejsou pokryty tímto systémem, jsou Grónsko, kde vzhledem k nízké hustotě osídlení není tohoto systému zapotřebí, a Austrálie, kde již parlament předložil žádost o přezkoumání, jehož výsledek obdržel v květnu 2011. Bohužel zatím výstavba nebyla schválena z důvodu vysoké finanční náročnosti.

Tabulka 6.10: SBAS systémy

| Název technologie | OmniSTAR | StarFire | Starfix | WAAS | EGNOS | MSAS | GAGAN | CWAAS | SNAS | ASAS | SDCM | SACCSA |
|-------------------------|-------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|------|------------------|------------------|------------------|
| Region | globální | globální | globální | USA | Evropa | Japonsko | Indie | Canada | Čína | Afrika | | Jižní Amerika |
| Vypuštění první družice | | | | 10.1996 | | | 21.5.2011 | | | 2020 | 11.12.2011 | |
| Uvedení do provozu | | | | | 1.10.2009 | 2005 | | | | | | |
| Počet družic | 8 | 7 | | 3 | 5 | 2 | 3 | | | 3 | 3 | 3 |
| Přesnost horizontální | dočasně až 2,5 cm | < 5 cm | < 10 cm | < 1 m | 1 - 2 m | | 1.5 m | 2 m | 1 m | | 1- 1,5 m | 2 m |
| Přesnost vertikální | | | | < 1,5 m | | | 2,5 m | | | | 2 - 3 m | 4 m |
| Podporovaná služba | GPS | GPS | GPS | GPS | GPS | GPS | GPS GLONASS | GPS | GPS | GPS | GPS | GPS |
| Frekvence [MHz] | 1557,9 a 1539,9 | | | | 1575.42 | | | | | | | |
| Poznámka | komerční | komerční | komerční | v provozu | v provozu | v provozu | ve fázi výstavby | v provozu | | ve fázi projektu | ve fázi výstavby | ve fázi projektu |

Výhodou těchto systémů je dobré pokrytí signálem. Tato technologie se využívá především v námořnictví a letectví. Tabulka 6.10 dobře zobrazuje, že nejpresnější jsou komerční systémy Omnistar Starfire a Starfix.

6.6 Srovnání rozšiřujících technologií typu GBAS

Fungují velice podobně jako SBAS, ale k přenosu dat směrem k uživateli používají pozemní komunikaci, nejčastěji internet. Těchto systémů je nepřeberné množství. Jednotlivé pozemní stanice se sdružují do různých spolků. Někdy jedna pozemní stanice posílá data do několika centrál, odkud se pak přeposílají na terminál. Tabulka 6.11 uvádí několik, a to především těch, kteří se nacházejí na území České republiky.

Tabulka 6.11: GBAS systémy

| Název technologie | DGPS | EUREF | CZEPOS | VESOG | TopNET | GeoNAS | Trimble VRS Nov |
|---------------------------|----------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------------|
| Region | USA | Evropa | ČR | ČR | ČR | ČR | Několik států Evropy a USA |
| Uvedení do provozu | 1999 | | 2007 Plný(zpoplatněný) | | 2010 (pokryta cela ČR) | | |
| Přesnost horizontální | 10 cm | | až milimetry(PP) | | centimetry | | centimetry |
| Přesnost vertikální | | | | | | | |
| Počet Referenčních stanic | Pokryto USA | > 200 | 23(CZEPOS)+5(VESOG) | 8 | 32(ČR)+3(mimo ČR) | 22 | |
| Podporovaná služba | GPS | GPS + GLONASS + Galileo | GPS+GLONASS | GPS + GLONASS + Galileo | GPS + GLONASS | | GPS + GLONASS |
| Služby | GPS | DGPS, RTK, RAW | DGPS, RTK, VRS, PP | | DGPS, RTK, PP | | DGNSS, RTK |
| Typ připojení | Internet | | Internet | | Internet | | |
| Poznámka | | Experimentální | Komerční | Experimentální | Komerční | Experimentální | Komerční |

Tabulka 6.12 uvádí, jak systémy SBAS či GBAS dokáží eliminovat jednotlivé vlivy, které způsobují nepřesnost určení polohy.

Tabulka 6.12: Vliv DGPS-SBAS na přesnost

| Typy chyb a příčiny | Chyby bez GBAS / SBAS [m] | Chyby s GBAS / SBAS [m] | Zlepšení [%] |
|---|---------------------------|-------------------------|--------------|
| Horizontální chyba (2-sigma(95%)HDOP=1.3) | 12 | 3,6 | 70,00 |
| Horizontální chyba (1-sigma(68%)HDOP=1.3) | 6 | 1,8 | 70,00 |
| Celková RMS chyba | 4 | 1,2 | 70,00 |
| Vliv ionosféry | 3 | 0,2 | 93,33 |
| Efemeridy | 1,5 | 0,1 | 93,33 |
| Atomové hodiny | 1,5 | 0,1 | 93,33 |
| Odrazy | 1 | 1,4 | -40,00 |
| Vliv troposféry | 0,7 | 0,2 | 71,43 |
| Cyba přijímače | 0,5 | 0,5 | 0,00 |

6.7 Srovnání mobilních technologií

Tabulka 6.12 provádí srovnání dle přesnosti jednotlivých technologií použitých u mobilních operátorů. Není zde uvedeno A-GPS, protože tento systém pouze zrychluje studený start GPS, ale k výpočtu polohy se nepoužívají data mobilní sítě. Dosah těchto technologií je vždy závislý na pokrytí daného operátora. (9) Tato technologie je výhodná v tom, že na rozdíl od satelitních technologií je schopna určit polohu i terminálu, který je v budově nebo tunelu pokrytém pikobuňkami.

Tabulka 6.13: Technologie buňkových systémů

| Technologie | Základní RF metoda pro lokalizaci | Přesnost | Operator | Sít' |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------|---------|
| UL-ToA | ToA | desítky metrů | | všechny |
| E-OTD | TDoA | 30 - 300 metrů | USA | GSM |
| AFLT | | 50 - 200 m | | CDMA |
| AoA | AoA | stovky metrů | | všechny |
| EFLT | | 250 - 350 m | | CDMA |
| radis + azimut + souradnice (BTS) | ID+ToA+AoA | 550 m | Vodafone | GSM |
| E-CGI | ToA+RSSI | 8 km až 550 m | T-mobile | všechny |
| CGI | nalezení ID vysílače | stovky metru až kilometry | O2 | všechny |

Z tabulky 6.13 je patrné, že operátoři operující na území České republiky používají poměrně málo přesné metody k určování polohy. To je způsobeno vysokými požadavky na infrastrukturu. Bylo

by nutné do sítě investovat nemalé peníze. Tyto investice by však operátorovi nepřinesly odpovídající zisk. Dalším aspektem ovlivňujícím tuto situaci je zákon nebo vyhláška, která je například ustanovena v USA. Ta udává maximální dobu a minimální přesnost, s jakou musí být mobilní telefon možné lokalizovat. Z operátorů operujících na našem území například T-mobile nabízí služby spojené s lokalizací, jako je hlídání firemního vozového parku a podobně. Ovšem pro určení polohy je zde stejně využíváno GPS a mobilní síť slouží pouze pro odesílání informací o poloze zpět uživateli. Nutno také dodat, že v současné době mobilní telefony disponují také dalšími rozhraními, pomocí kterých se dá určit poloha, jako je například Wi-Fi.

7 Aplikace

7.1 RF id v řešení následků katastrof

Tato aplikace je zaměřena na přírodní katastrofy s velkým počtem raněných v poměrně malé lokalitě. Jednotliví ranění jsou označeni náramky s kódem, ke kterému je uvedena předběžná diagnóza. Pacient je zaměřen pomocí GPS a všechna tato data jsou odeslána prostřednictvím nějaké datové sítě, nejčastěji GSM, Wimax nebo Wi-Fi.

V ideálním případě mohou být pacienti označeni aktivním RFID zařízením, které by například mohlo snímat i životní funkce. Pro komunikaci je asi nejsnazší použít stávající mobilní operátory, jejichž zařízení funguje. V některých lokalitách, například v rozvojových zemích, nebo při katastrofě, kdy není možné použít síť mobilních operátorů, je možné využít mobilních stanic vybavených technologií WIMAX nebo podobnou, která danou lokalitu pokryje vlastním signálem. Toto zařízení může být umístěno přímo na mobilní nemocnici, která zasahuje na místě. (10) (11) (12)

7.2 Geodezie

Díky vysoké přesnosti některých systémů je možné využívat lokalizaci i v tomto odvětví. Ve velké většině se jedná o přístroje, které umí kombinovat více technologií současně, nejčastěji GPS a GLONASS, ale i další, jako je GALILEO nebo COMPASS. Jejich přesnost se pohybuje v řádech centimetrů. Jejich cena se však pohybuje ve stovkách tisíc korun v závislosti na přesnosti a použitých systémech. U těchto systémů se často dá zvlášť dokoupit software, který umí zvýšit přesnost a především rychlost zaměření polohy. (13)

Při určování přesné polohy pro geodetické účely se používá několik metod:

- **Statická metoda** využívá pro měření 2 a více přijímačů po dobu několika hodin a dosahuje nejpresnějších výsledků. Využívá se pro polohové základny, deformace či geodynamické sítě.
- **Rychlá statická metoda** se používá nejčastěji a trvá 10 až 30 minut v závislosti na přístroji. Jeden přijímač stojí na referenční stanici po celou dobu měření. Druhý přechází mezi určovanými body. Metoda dosahuje centimetrové přesnosti v poměrně krátkém čase.
- **Stop And Go metoda** je podobná jako předchozí, ale přijímač nepřestává měřit ani při přesunu. Na prvním bodě musíme zůstat tak dlouho, dokud se nevyřeší spolehlivě ambiguity, potom stačí měřit několik sekund na každém dalším bodě. Během měření nesmí dojít ke ztrátě signálu. Metoda je vhodná pro podrobné měření.
- **Kinetická metoda** je podobná jako předchozí. Odečítá se poloha po určité časové jednotce.

- **Kinetická metoda bez inicializace** předpokládá, že se dá určit přesná poloha terminálu z kódových měření a není tu podmínka ztráty signálu.
- **Diferenční metoda** používá pouze kódová měření. Předpokládá se, že chyby měřených pseudovzdáleností jsou silně korelovány pro blízké přijímače. Používá se především pro mapování ve středních měřících. (14)

Tato technologie se často využívá u velkých staveb. Byla například použita u stavby mostu Millau, což je nejvyšší most na světě, který se nachází v jižní Francii a jeho nejvyšší pilíř dosahuje výšky až 343 m. Vzdálenost mezi pilíři je 342 m. Díky těmto rozměrům by bylo použití jakékoli jiné technologie velice obtížné. Měření u této stavby dosahovalo přesnosti 5 mm. (15)

7.3 Navigace uvnitř budov

Podle studie společnosti Cisco pracují lidé z 80 % s mobilními daty v kanceláři či doma. Jen ve 20 % případů lze tedy využít pro přesné zaměření pozice opravdové GPS. (16) Proto není zanedbatelné se zabývat problematikou navigace uvnitř budov. Například Společnost NAVTEQ uvolnila 200 půdorysů největších nákupních center v USA do svých navigací. Na Bing Maps jsou dostupné mapy letišť. Také aplikace Google Maps 6.0 na operačním systému Android podporuje navigaci uvnitř budov. Touto problematikou se zabývá také projekt „i-GOing“ založený na systému Galileo a moderních „pseudolit“ technologiích. (17)

Jedním z využití je pak například obchodní asistent. Pro účely lokalizace zákazníka na ploše supermarketu, využívají zařízení označovaná jako osobní nákupní asistenti (Personal Shopping Assistant - PSA) infračervené technologie. Plocha obchodu je vybavena infračervenými majáčky vysílajícími identifikační kód. PSA pak podle kódu určí svoji polohu a nabízí zákazníkovi zajímavé či zlevněné produkty v jeho okolí. Současně jej také vede obchodem podle osobního elektronického nákupního seznamu. (18)

7.4 SLR

Satelitní laser ranging slouží pro korekci družic na jejich dráze a také k měření výšky hladiny světových oceánů, pohybu tektonických desek, stavu atmosféry, ledovců, hledání kosmického smetí a podobně. Princip je v celku jednoduchý, používá se laserový paprsek, který se odrazí od tzv. retro-reflektoru – odražeče a z uplynulého času se zjistí požadovaná vzdálenost. (19) Je to metoda měření vzdálenosti s velmi vysokou přesností, až 1mm. (20) Tato technologie má velké využití v geodezii a geodynamice. Asi 40 globálních stanic SLR dodává data pro určování absolutních souřadnic vztažených k těžišti Země s přesností přibližně 1cm. Pro sledování tektonických desek s přesností 2mm/rok, přičemž se desky pohybují s rychlostí několik centimetrů za rok. SLR slouží také k určení přesných drah a efemerid družic s altimetry, pro zpřesňování zemského gravitačního pole. Tento

systém také zajišťuje sledování orientace zemského tělesa v prostoru. Měření SLR je tedy jedním ze základních prostředků pro údržbu globálního souřadnicového systému a kalibraci mikrovlnných aparátů. (21) Tato technologie se používá i pro měření vzdálenosti Země a Měsíce. Tady se ale označuje jako LLR (Lunar Laser Ranging). (22)

7.5 Systém preference vozidel MHD

Jedná se o systém inteligentních zastávek nacházející se na území města Olomouce. Systém funguje na základě následujícího principu: před křižovatkou je virtuální bod. Pokud vozidlo projede tímto bodem (zjišťuje se na základě signálu GPS), vyhodnotí se zpoždění. V případě, že je vůz zpožděný, požádá radiomodemem křižovátku o preferenci. Řadič křižovátky vyhodnotí dopravní situaci a ve vhodném okamžiku přidělí preferenci. Těchto zastávek je na území města 21, přičemž „inteligentních“ označků na zastávkách je 51. Tento systém má přínos na snížení čekacích dob vozidel MHD na řízených křižovatkách a omezení zastavování a rozjíždění vozidel před křižovatkami. (23)

7.6 Navigace vozidel

Další z aplikací lokalizační techniky je navigace vozidel. Dá se říct, že dnes má již každý řidič zkušenosti s jízdou podle navigace. Tyto navigace jsou dnes již velice levné, dají se pořídit již od tisíce korun a využívají se nejen v automobilech, ale i na motocyklech či dokonce jízdních kolech. Liší se pouze provedením, kdy provedení na motocykly a jízdní kola musí být voděodolné a musí být schopné komunikovat se sluchátky, která často bývají zabudovaná přímo v helmě. K tomu se nejčastěji používá radiová bezdrátová technologie, nejčastěji však Bluetooth.

Tyto navigace se používají nejen pro normální provoz, ale také při různých závodech jako je Rallye Dakar, kdy jezdci toto zařízení používají ke stanovení přesných bodů, kterými musí projet, a také jako černou skříňku. Díky záznamům z těchto zařízení mohou být pokutováni za překročení rychlosti v obydlených oblastech a za neprojetí požadovaných míst, a to jak penězně, tak v podobě trestných minut.

V současné době se začíná navigace využívat nejen k navigování řidiče vozidla, ale stává se jedním z prvků, které napomáhají řízení vozidla samotného. Autonomně řízená auta společnosti Google mají najeta přes 300 000 km bez nehody.

7.7 Geocaching

Je hra, kdy si účastník většinou na webových stránkách najde souřadnice „pokladu“ a ten pak pomocí své navigace hledá v terénu. Většinou se jedná o nějakou plastickou krabičku nebo sklenici a podobně, ve které jsou umístěny různé předměty od zakladatele nebo dalších lidí, kteří jí objevili.

Geocaching vymyslel Dave Ulmer 2.5.2000, kdy byla zrušena umělá odchylka vysílaná se signálem GPS. Téhož dne uvedl nápad této hry na svých stránkách. Označoval ji však jako Stash game. 3.5.2000 byla umístěna první keš na souřadnice N 45 17.460 W122 24.800. V České republice byla první keš umístěna 1.6.2001. (24)

V současné době je aktivních přes 2 017 957 kešek na světě. V České republice jich je přes 33 000. Tato čísla se stále zvyšují prudkým tempem. (25)



Obrázek 8: Mapka pokrytí země keškami

Kešky lze rozdělit podle velikosti. Nejmenší jsou velikosti magnetky a nejčastěji se používají na velice frekventovaných místech. Až po large, kdy se jedná většinou o nějaké menší sudy nebo bedny. Dále je lze dělit podle způsobu nalezení, kdy nejzákladnější keška se nachází přímo na souřadnicích, které nalezneme v listingu. Dále jsou kešky, kde musíme obejít více míst, abychom získali informace k nalezení cílové kešky. Tento typ se nazývá multi keš. Někdy musíme mít nainstalovaný na navigaci speciální program, který nás provádí a dává nám instrukce o trase. Jedná se o werigo cache. A mnoho dalších. Lze je také rozdělit podle dostupnosti od 1, kterou odloví i vozičkář, až po 5, na kterou je zapotřebí horolezecké vybavení. Posledním kritériem je samotná obtížnost nalezení. Tady je stupnice od 1, kdy se jedná o nejjednodušší keše, které lze najít po přípravě

i bez GPS, až po obtížnost 5, kdy se jedná o kešky s obrovskou intelektuální náročností, složité šifry s velkou časovou náročností při hledání a podobně. Mohou mít i mezinárodní charakter.

7.8 Lokalizace tísňových volání

Jedním z nejšlechetnějších využití lokalizace je lokalizace tísňových volání. Jedná se o opravdu velkou škálu technologií, které se k tomu používají. Daly by se rozdělit především podle toho, o jaké tísňové volání se jedná. Jsou speciální systémy pro letadla zabudované v černých skříňkách, další systémy se zabývají tísňovým voláním lodí na širém moři a další se zabývají přímo lokalizací tísňových volání osob. To jak z pevných linek, kdy je lokalizace jednoznačná, tak i lokalizaci mobilních technologií, kdy se přesnost lokalizace může velice lišit v závislosti na technologii, kterou daný operátor používá.

8 Závěr

V této práci byly uvedeny 3 základní principy určení polohy v závislosti na tom, kdo provádí samotný výpočet. Byly zde popsány 3 geometrické metody určení polohy a metoda fingerprintingu, která je v současné době hojně používána především v uzavřených prostorech a v prostorech měst. Také zde byly uvedeny 4 radiové metody, které se používají při určování polohy. Při srovnání technologií zde bylo uvedeno 20 technologií. Tyto technologie byly rozděleny dle dosahu.

U globálních satelitních technologií bylo uvedeno 5 implementací, ze kterých je jediný plně funkční systém GPS a částečně funkční GLONASS, ostatní jsou ve fázi výstavby. Dále jsou zde popsány 3 implementace RNSS, zde je opět jediný plně funkční Čínský systém Beidou. Bylo zde uvedeno 12 SBAS a 7 vybraných GBAS systémů. Jako poslední zde bylo uvedeno 8 technologií používaných pro lokalizaci mobilních telefonů. Ovšem většina prostudovaných materiálů odkazovala na masivní využití A-GPS u lokalizace mobilních telefonů.

V současné době vzniká velké množství nových a dalších systémů pro lokalizaci a doplňkových systémů v různých rozsazích. Důvod vzniku dalších navigačních systémů, především satelitních, je většinou hlavně politický. Jde o nezávislost navigace v případě válečného konfliktu a podobně. To byl důvod pro vznik například IRNSS, ale i dalších. Dalšími důvody pro vznik těchto systémů jsou vysoká členitost terénu, množství pohoří a měst, ve kterých je špatný výhled na družice nad obzorem. Toto byl například důvod vzniku Japonského QZSS. Díky tomu může uživatel kombinovat tyto systémy. Dosáhne tak lepšího pokrytí i v místech, kde by to v rámci jednoho systému nebylo nikdy možné.

9 Použitá literatura

- [1]. **Ilyas, Syed A. Ahson and Mohammad.** *Location-Based Services Handbook*. s.l. : CRC Press, 2011.
- [2]. **Zikmund, Lukáš.** *MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI MEZI UZLY*. Brno : FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH, 2011.
- [3]. **Pék, Vojtěch.** Využití informace z ADS-B v pasivních . [Online] 2008. [Citace: 20. 4 2013.] http://xa.yimg.com/kq/groups/21841168/1311038494/name/Vojtech_Pek-Diplomova_prace.pdf.
- [4]. **Jakub Čížek.** Vím, kde je tvůj Wi-Fi router. *Živě*. [Online] 16. 12 2010. [Citace: 9. 7 2013.] <http://www.zive.cz/clanky/hackujeme-google-vim-kde-je-tvuj-wi-fi-router/sc-3-a-155025/default.aspx>.
- [5]. **Šafařík, Bc. Jan.** Určování polohy Wi-Fi zařízení. Pardubice : autor neznámý, 2010.
- [6]. **Vyskočil, Z.** Porovnání systémů určení polohy a navigace v budovách (překlad z [Vergleich von Systemen zur Positionbestimmung und Navigation in Gebäuden] / Günther Retscher und Michael Kistenich. - In: ZfV. - ISSN 1618-8950. - Roč.131, č.1 (2006), s.25-35. - Res. ně). *VUGT*. [Online] 2006. [Citace: 21. 4 2013.] <http://www.vugtk.cz/nzk/c3-06/retscher.htm>.
- [7]. **Allan Brimicomble, Chao li.** *Location based services and geo-information engineering* . Singapore : Fabulous Printers Pte Ltd., 2009. 978-0-470-85736-6.
- [8]. SBAS in the world. *esa*. [Online] 7. 4 2011. [Citace: 20. 7 2013.] http://www.navipedia.net/index.php/File:SBAS_in_the_world.png.
- [9]. **Srp, Jaroslav.** Geolokace a geolokační techniky. *Datakon*. [Online] 2011. [Citace: 2013. 7 23.] www.datakon.cz/media/2011/prezentace/tutorialy/geolokace.pptx.
- [10]. **Rydval, Jan.** Aktivní RFID - 3. část seriálu. *ITBIZ*. [Online] 8. 11 2008. [Citace: 21. 4 2013.] <http://www.itbiz.cz/aktivni-rfid-serial>.
- [11]. RFID. *Wikipedie*. [Online] 20. 3 2013. [Citace: 14. 7 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/RFID>.
- [12]. **Karel Zvolský, Václav Kolčava a Jaroslav Jansa.** RFID v řešení následků katastrof. *STECH*. [Online] [Citace: 14. 7 2013.] https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.stech.cz%2Fdownload.php%3Fid_document%3D401162414%26

at%3D1&ei=mMXiUaLuM4K9Ofn7gYAN&usg=AFQjCNEhRGi6FihgbDNzNeBXmRQkNqnBSA&sig2=3FVModjXp9t5K9TStWImjA.

- [13]. **Schenk, Jan.** Globální polohové systémy v geodézii. *Institut Geodézie a Důlního Měřictví*. [Online] 2003. [Citace: 14. 7 2013.] http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/Globalni_polohove_systemy.pdf.
- [14]. Pár slov o Globálním Polohovém Systému - GPS. *Geosmar*. [Online] 2009. [Citace: 14. 7 2013.] <http://www.geosmar.cz/sytemy-gps.html>.
- [15]. Millau Viaduct. *wikiarquitectura*. [Online] 24. 11 2010. [Citace: 14. 7 2013.] http://en.wikiarquitectura.com/index.php/Millau_Viaduct.
- [16]. **Taylor, Stuart.** A New Chapter for Mobile? How Wi-Fi Will Change the Mobile Industry as We Know It. *Cisco*. [Online] 11 2011. [Citace: 14. 7 1013.] <http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/sp/New-Chapter-for-Mobile.pdf>.
- [17]. **Pánek, Jirka.** Evropský projekt i-GOing – další krok vpřed na poli indoor navigace. *gisportal*. [Online] 14. 3 2012. [Citace: 14. 7 2013.] <http://www.gisportal.cz/2012/03/evropsky-projekt-i-going-aneb-dalsi-krok-vpred-na-poli-indoor-navigace/>.
- [18]. Wincor World Showcases Self-Checkout, Personal Shopping Assistant. *kioskmarketplace.com*. [Online] 4. 2 2004. [Citace: 22. 6 2013.] <http://www.kioskmarketplace.com/article/174518/Wincor-World-Showcases-Self-Checkout-Personal-Shopping-Assistant>.
- [19]. Satellite laser ranging. *Wikipedie*. [Online] 13. 6 2013. [Citace: 14. 7 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Satellite_laser_ranging.
- [20]. **Nasa.** SATELLITE LASER RANGING AND. <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/>. [Online] [Citace: 22. 6 2013.] <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/docs/slrover.pdf>.
- [21]. **Karský, G.** VÚGTK. Dvoubarevné laserové měření vzdáleností k družicím pro posouzení modelů atmosférické refrakce. [Online] 2004. [Citace: 15. 7 2013.] <http://www.vugtk.cz/nzk/c6-04/sperber.html>.
- [22]. **Tyahla, Lori J.** Lunar Laser Ranging (LLR). *International Laser Ranging Service*. [Online] 15. 5 2013. [Citace: 14. 7 2013.] <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/science/scienceContributions/lunar.html>.

-
- [23]. **Menšík, Ing. Vladimír.** <http://aa.ecn.cz/>. [Online] [Citace: 22. 6 2013.] http://aa.ecn.cz/img_upload/eafd8382e68de047a49213a9ed52af69/vladimir-mensik_rozvoj-mhd-v-olomouci.pdf.
- [24]. Historie. *geocaching.cz*. [Online] 1. 2 2012. [Citace: 24. 3 2013.] <http://wiki.geocaching.cz/wiki/Historie>.
- [25]. Search For Geocaches. *Geocaching*. [Online] 2013. [Citace: 24. 3 2013.] <http://www.geocaching.com>.
- [26]. Busines Intelligence trough locatin. *ekahau*. [Online] 2012. [Citace: 22. 4 2013.] <http://www.ekahau.com/>.
- [27]. Ultra-wideband. *Wikipedia*. [Online] 4. 4 2013. [Citace: 21. 4 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>.
- [28]. **Mrajca, Michal.** Principy přenosu v UWB sítích . *cvut*. [Online] [Citace: 21. 4 2013.] http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/UWB-principy_prenosu.pdf.
- [29]. **úřad, Český telekomunikační.** síťový plán identifikacních oznacení sítí, datových toku a služeb sítí zemského digitálního televizního vysílání. Praha : autor neznámý, 2008.
- [30]. Pasivní radiolokátor věra. *Wikipedie*. [Online] 17. 10 2012. [Citace: 6. 3 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Pasivn%C3%AD_radiolok%C3%A1tor_V%C4%9Bra.
- [31]. **Bouše, Václav.** Lokalizace v mobilních sítích. <http://radio.feld.cvut.cz/>. [Online] [Citace: 5. 5 2013.] http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/Lokalizace%20v%20mobiln%EDch%20s%EDt%EDch%20-%20Vaclav%20Bouse%20-%20referat%20na%2037MK.pdf.
- [32]. **Openvare.** Overview of location technologies. [Online] Openvare, 19. 11 2002. [Citace: 5. 5 2013.] http://www.ipcgps.com/uploads/docs/Intro_to_Location_Technologies-1.pdf.
- [33]. GENERAL INFORMATION ON GPS. *Navigation center*. [Online] U.S.Department of Homeland Security, 21. 3 2012. [Citace: 5. 5 2013.] <http://www.navcen.uscg.gov/>.
- [34]. Global Position System. *Wikipedie*. [Online] 8. 3 2013. [Citace: 10. 3 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>.
- [35]. GPS Accuracy Failing – Seriously? *navigation developer blog*. [Online] 2009. [Citace: 6. 4 2013.] <http://blogs.agi.com/navigationAccuracy/?p=196>.
-

-
- [36]. Jak zvýšit přesnost GPS. *Navigovat*. [Online] 2013. [Citace: 13. 3 2013.] <http://navigovat.mobilmania.cz/clanky/jak-zvysit-presnost-gps/sc-265-a-1313205>.
- [37]. **Center, U.S. Coast Guard Navigation.** GPS NANUS, ALMANACS, & OPS ADVISORIES. *navigation center*. [Online] 19. 10 2012. [Citace: 10. 3 2013.] <http://www.navcen.uscg.gov>.
- [38]. **Navigovat.** Pořádek ve zkratkách: co znamená A-GPS? *Nawigovat*. [Online] Mladá fronta a.s., 2013. [Citace: 12. 3 2013.] <http://navigovat.mobilmania.cz/clanky/poradek-ve-zkratkach-co-znamen-a-gps/sc-265-a-1314495>.
- [39]. Wikipedie GLONASS. *Wikipedie*. [Online] 8. 3 2013. [Citace: 5. 4 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS>.
- [40]. News Innovation: GLONASS. *Russian Federal Agency*. [Online] 16. 4 2011. [Citace: 8. 4 2013.] <http://www.roscosmos.ru/main.php?id=2&nid=11670&hl=luch-5>.
- [41]. Hlavní stránka glonass-iac. *glonass-iac*. [Online] 2013. [Citace: 5. 4 2013.] <http://glonass-iac.ru/>.
- [42]. Satellite predictor tool. *navcomtech*. [Online] 2013. [Citace: 6. 4 2013.] <http://satpredictor.navcomtech.com/>.
- [43]. GALILEO. *ESA*. [Online] 14. 1 2013. [Citace: 1. 4 2013.] http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo.
- [44]. Navigační systém Galileo. *Wikipedie*. [Online] 13. 3 2013. [Citace: 1. 4 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m_Galileo.
- [45]. Aktuální stav COMPASS. *beidou*. [Online] 26. 12 2012. [Citace: 4. 1 2013.] <http://www.beidou.gov.cn/2012/12/26/20121226bac9c0de3e6b430d997368b19ff2c6b5.html>.
- [46]. Beidou Navigation Satellite System. *Wikipedia*. [Online] 26. 3 2013. [Citace: 1. 4 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/Beidou_Navigation_Satellite_System.
- [47]. **Šebesta, Jiří.** LRAR – Radiolokační a radionavigační systémy. *Urel.feec.vutb.cz*. [Online] 2011. [Citace: 23. 7 2013.] www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/mag/.../MRAR.pdf.
- [48]. Dragon in space. *Beidou*. [Online] 3. 4 2012. [Citace: 3. 4 2013.] <http://www.dragoninspace.com/navigation/beidou.aspx>.
- [49]. Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS). *isro.gov.in*. [Online] 2012. [Citace: 3. 4 2013.] <http://www.isro.gov.in/newsletters/contents/spaceindia/jan2012-jun2012/article5.htm>.
-

-
- [50]. Indian Regional Navigational Satellite System. *Wikipedie*. [Online] 19. 3 2013. [Citace: 3. 4 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigational_Satellite_System.
- [51]. Satellite today. *Indie IRNSS*. [Online] 18. 3 2013. [Citace: 3. 4 2013.] http://www.satellitetoday.com/st/curated/Indias-IRNSS-First-Satellite-to-Launch-June-2013_40839.html.
- [52]. QZSS System description. *navipedia*. [Online] 21. 6 2012. [Citace: 4. 4 2013.] <http://www.navipedia.net/index.php/QZSS>.
- [53]. **Limited, Trimble Navigation.** *OmniSTAR*. [Online] 2012. [Citace: 8. 5 2013.] <http://www.omnistar.com/>.
- [54]. StarFire. *Navcom*. [Online] 2013. [Citace: 7. 4 2013.] http://www.navcomtech.com/wps/dcom/navcom_en_US/products/equipment/cadastral_and_boundary/starfire/starfire.page.
- [55]. *STARFIX*. [Online] Fugro, 2013. [Citace: 8. 5 2013.] <http://www.starfix.com/Egendefinert.aspx?Mid1=49&EDef=10>.
- [56]. Federal Aviation administration. *Federal Aviation administration*. [Online] 2013. [Citace: 7. 4 2013.] <http://www.nstb.tc.faa.gov/>.
- [57]. EGNOS navipedia dostupnost. *esa*. [Online] 7. 9 2011. [Citace: 7. 4 2013.] http://www.navipedia.net/index.php/File:EGNOS_performances_availability.png.
- [58]. EGNOS. *Český kosmický portál*. [Online] 2013. [Citace: 7. 4 2013.] <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/egnos/>.
- [59]. Meteorological satellites JMA. *JMA*. [Online] 2013. [Citace: 7. 4 2013.] <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/>.
- [60]. GAGAN. *Airport authority of India*. [Online] 6. 1 2010. [Citace: 8. 5 2013.] http://www.aai.aero/public_notices/aaisite_test/faq_gagan.jsp.
- [61]. WAAS IN CANADA. <http://members.shaw.ca/>. [Online] 17. 11 2011. [Citace: 8. 4 2013.] <http://members.shaw.ca/pdops/WAAS.html>.
- [62]. **Esa.** SNAS. *navipedia*. [Online] 2011. [Citace: 8. 5 2013.] <http://www.navipedia.net/index.php/SNAS>.
- [63]. **Dimov Stojce Ilcev.** ASAS. <http://www.dut.ac.za/>. [Online] 8 2011. [Citace: 8. 4 2013.] [http://www.dut.ac.za/sites/default/files/space_science/African%20Satellite%20Augmentation%20System%20\(ASAS\).pdf](http://www.dut.ac.za/sites/default/files/space_science/African%20Satellite%20Augmentation%20System%20(ASAS).pdf).
-

-
- [64]. SDCM navipedia. *ESA*. [Online] 2011. [Citace: 8. 4 2013.] <http://www.navipedia.net/index.php/SDCM>.
- [65]. MODELO SACCESA. *Work Shop GNSS SACCESA*. [Online] 1. 4 2012. [Citace: 8. 4 2013.] <http://www.mexico.icao.int/Meetings/TCMeetings/SACCESA2012/SACCESA-P03.pdf>.
- [66]. **ChristianHernaiz, LT.** Nationwide Differential GPS System. *navcen*. [Online] [Citace: 6. 4 2013.] [http://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/50/\[7\]Nation_Diff_GPS_System.pdf](http://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/50/[7]Nation_Diff_GPS_System.pdf).
- [67]. DGPS SITE COVERAGE. *navigation center*. [Online] 9. 1 2013. [Citace: 6. 4 2013.]
- [68]. *Euref*. [Online] 18. 10 2011. [Citace: 8. 5 2013.] http://www.euref.eu/euref_abouteuref.html.
- [69]. Informace o službách a produktech. *zeměměřičský ústav*. [Online] [Citace: 6. 4 2013.]
- [70]. CENÍK PRODUKTŮ A VÝKONŮ ZEMĚMĚŘICKÉHO ÚŘADU. *geoportal*. [Online] Zeměměřický úřad, 21. 1 2013. [Citace: 6. 4 2013.] <http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/CENIK.pdf>.
- [71]. Stanice sítě vesog. *VESOG*. [Online] 1. 2 2010. [Citace: 6. 4 2013.] <http://oko.asu.cas.cz/vesog/index.html>.
- [72]. opNET. *TopNET*. [Online] 2012. [Citace: 7. 4 2013.] <http://topnet.geodis.cz/topnet/topnet.aspx>.
- [73]. GeoNAS. *GeoNAS*. [Online] 2013. [Citace: 7. 4 2013.] <http://www.geonas.irms.cas.cz/index.php>.
- [74]. Trimble. *Trimble*. [Online] 2013. [Citace: 7. 4 2013.] www.trimble.com.
- [75]. **Toon Goedemé, Marnix Nuttion, Tinne Tuytelaars and Luc Van Gool.** *Markerless Computer Vision Based Location using Automatically Generated Topological Maps*. Belgie : autor neznámý.
- [76]. **Designs, Charlie & David.** *geomatics*. [Online] 2011. [Citace: 24. 3 2013.] <http://www.geomatics.com.bo/#?itemid=33&link=/productos/item.php>.

Seznam příloh

| | |
|---|-----|
| Příloha. A: Tabulka všech zmíněných technologií, část první | I |
| Příloha. B: Tabulka všech zmíněných technologií, část druhá..... | II |
| Příloha. C: Tabulka všech zmíněných technologií, část třetí | III |

Príloha. A: Tabuľka všetkých zmienených technológií, časť prvá

| Technologie / implementace | | Popis | |
|---------------------------------------|--|---|---|
| Technologie využívající radiových vln | WiMax | Datová bezdrátové síť typu MAN (26) | |
| | Wi-Fi | Datová bezdrátové síť typu LAN | |
| | Bluetooth | Datové připojení na krátké vzdálenosti: mobilní telefony, tiskárny | |
| | UWB | Datové přenosy na krátké vzdálenosti, speciální radary pro vyhledání osob v sutinách, detekci osob pro vojenské účely a ve zdravotnictví pro zjištění životních funkcí (27) (28) | |
| | Pasivní RFID | Nemá zdroj energie. K lokalizaci se používá princip trasování nebo zjišťování přítomnosti (10) | |
| | Aktivní RFID | Obsahuje vlastní zdroj energie, lokalizace pomocí Wi-Fi, Wimax (10) | |
| | DTV | Digitální pozemní televizní vysílání (29) | |
| | Konvenční rádio | Pozemní rozhlasové vysílání | |
| | Pasivní radar | Systém Věra: kontrolní a záložní systém pro radarové systémy řízení letového provozu (30) | |
| | Buňkové | Především sítě mobilních operátorů | |
| | Lokalizace pomocí sítě používané u GSM | Cell ID | Podle čísla buňky, přesnost dle rozsahu buňky, stovky metrů až několik kilometrů |
| | | Timing and advance | Při příjmu od více vysílačů a využití metody triangulace, lze určit polohu s přesností na desítky metrů |
| E-OTD | | Enhanced Observed Time Difference využívá TDoA od 3 a více základnových stanic. Je zde nutnost synchronizace. Polohu může vypočítat i telefon pokud zná rozmístění vysílačů, nebo vysílače vysílají svou polohu. Možné provádět i pomocí SIM-toolkit. | |
| Angle of Arrival | | Využití směrovosti antén a znalosti vyzařovacích charakteristik | |
| E-CGI | | Enhanced Cell Global Identity je metoda CEL ID + ToA + RSSI a model úrovně signálu. Přesnost je 50 – 550 m pro městské oblasti a 250 m – 8 km pro venkovské oblasti. | |

Příloha. B: Tabulka všech zmíněných technologií, část druhá

| Technologie / implementace | | Popis |
|---------------------------------------|---|---|
| Technologie využívající radiových vln | Lokalizace pomocí mobilního zařízení tyto technologie se používají u sítí 3G CDMA | AFLT Advance Forward Link Trilateration přesnost 250 až 350 m Potřeba Software v terminálu. Často použito v kombinaci s A-GPS. Výpočet polohy provádí síť, které terminál pošle přijatá a naměřená data. |
| | | A-GPS Asistovaná GPS zajišťuje zrychlení studeného startu GPS (více v kapitole A-GPS). Přesnost 50 až 200 m |
| | | EFLT Enhanced forward Link Trilateration je typicky používané pro telefony jako záloha, pokud nelze použít AFLT nebo A-GPS. Přesnost 250 až 350 m. Princip je velice podobný AFLT, ale jsou zde použité jiné protokoly. (31) (32) (7) |
| | Hyperbolický navigační systém (49) | Decca Anglický |
| | | Omega Americký |
| | | LORAN-C Americký |
| | | CHAYKA Ruský |
| | GNSS - Globální navigační satelitní systém | GPS Americký (33) (34) (35) (36) (37) |
| | | A-GPS Asistovaná GPS pro rychlý studený start. (38) |
| | | GLONASS Ruský (39) (40) (41) (42) |
| | | Galileo Evropský (43) (44) |
| | | Compass (Beidou) Čínský (45) (46) (47) |
| | Regionální NSS | Beidou-1 Čína (48) |
| | | IRNSS Indický (49) (50) (51) |
| | | QZSS Japonský (52) |
| | SBAS – Systém pozemních stanic pro opravy satelitních navigací, komunikující přes satelit. | OmniSTAR komerční celosvětový (53) |
| | | StarFire komerční celosvětový (54) |
| | | Starfix komerční celosvětový (55) |
| | | WAAS Americký pro GPS (56) |
| | | EGNOS Evropský (57) (58) |
| | | MSAS – MTSAT Japonský (59) |
| | | GAGAN Indický (60) |
| | | CWAAS Kanadský, rozšíření WAAS (61) |
| | | SNAS Čínský (62) |
| | | ASAS Africký (63) |
| | | SDCM Ruský pro GLONASS i GPS (64) (40) |
| | | SACCSA Jižní Amerika (65) |

Příloha. C: Tabulka všech zmíněných technologií, část třetí

| Technologie / implementace | | | Popis |
|--|--|--------------------|---|
| Technologie využívající radiových vln | GBAS – Systém pozemních stanic pro opravy satelitních navigací, komunikující prostřednictvím pozemní sítě nebo internet. | DGPS | Americký (66) (67) |
| | | EUREF | Evropský vědecký (68) |
| | | CZEPO | Český komerční (69) (70) |
| | | VESOG | Český vědecký (71) |
| | | TopNET | Český komerční (72) |
| | | GeoNAS | Český vědecký (73) |
| | | Trimble VRS Now | Mezinárodní komerční (74) |
| Ultrazvuk | Active bats | | Vnitřní aktivní terminál, výpočet polohy infrastrukturou (1) |
| | Cricket | | Podobný jako předchozí, ale výpočet polohy zařizuje terminál. (1) |
| | Dolphin | | Je vylepšení dvou předchozích. (1) |
| | Heamite | | Pracuje stejně jako dva první, ale je zde větší počet uzlů, velká přesnost. (1) |
| IR | Pasivní IR | | Pohybová čidla na osvětlení a zabezpečení. |
| | Aktivní IR | | Lokalizace v budovách a přenos informací |
| Zvuk ve slyšitelném spektru | | | Stejný princip jako předchozí, jednoduchý terminál (stačí běžný mikrofon a reproduktor), problém s hlukem na pozadí (1) |
| Computer vision | | | Lokalizace pomocí databáze fotografií objektu. (75) |
| LIDAR | | | (Light Detection and Ranging or Laser Imaging Detection and Ranging) Měření vzdálenosti pomocí laseru, především na principu radaru. |